LENIN

Y LAS CIENCIAS NATURALES CONTEMPORÁNEAS

Academia de Ciencias de la U.R.S.S.

ACADEMIA DE CIENCIAS DE LA U.R.S.S.
Consejo Científico para cuestiones filosóficas
de las ciencias naturales contemporáneas
Instituto de Filosofía

LENIN

Y LAS CIENCIAS NATURALES CONTEMPORÁNEAS

Bajo la redacción de
M. E. OMELIÁNOVSKI

BIBLIOTECA VALENCIA FILOSOFIA Y LETRAS

MONTEVIDEO Ediciones Pueblos Unidos URUGUAY

Traducción directa del ruso
por
AUGUSTO VIDAL ROGET

Carátula de
JORGE CARROZZINO

CUERPO DE REDACCION:

V. A. AMBARTSUMIÁN, D. I. BLOJÍNTSEV, I. I. GUERÁSIMOV,
V. M. GLUSHKOV, B. V. GNÉDENKO, N. I. GRASHCHENKOV,
B. M. KÉDROV, I. V. KUZNETSOV, M. E. OMELIÁNOVSKI,
V. I. STOLIÉTOV, V. A. FOK, E. V. SHÓROJOVA,
D. O. SHCHERBAKOV

© EDICIONES PUEBLOS UNIDOS S. A.
TACUAREMBO Y COLONIA – C. CORREO 589 – MONTEVIDEO-URUGUAY
IMPRESO EN EL URUGUAY PRINTED IN URUGUAY

PREFACIO

Se cumple el centenario del nacimiento de Vladimir Ilich Lenin. Lo conmemoran la clase obrera y los trabajadores del mundo entero, toda la humanidad progresiva, los hombres de ciencia soviéticos y de los demás países. La organización internacional que se ocupa de las cuestiones relativas a la educación, a la ciencia y a la cultura en la Organización de las Naciones Unidas (la U.N.E.S.C.O.) participa oficialmente en la conmemoración.

El presente libro, consagrado a los problemas de las ciencias naturales a la luz de las ideas de Lenin, no constituye sólo un tributo ofrecido a la memoria del extraordinario hombre de Estado y del genial científico y pensador, sino que además pone de manifiesto el indisoluble lazo que existe entre las ideas de Lenin y la ciencia de nuestra época.

Los trabajos de Lenin constituyen una inmensa fuerza creadora. Arman espiritualmente a la humanidad en la lucha contra la opresión y la esclavitud en todas sus manifestaciones. Lenin unió las tesis filosóficas aparentemente abstractas con la actividad revolucionaria de la clase más revolucionaria de la historia, y mostró el valor sin par del materialismo dialéctico —creado por Marx y Engels y ampliado por el propio Lenin— para todas las ramas de la ciencia. No es necesario tratar de ello circunstanciadamente en el prólogo; los mismos científicos autores de este libro han contado a su modo y en concreto cómo han influido las ideas leninistas sobre el desarrollo, las perspectivas y la historia de la ciencia, sobre la formación de la actual manera científica de concebir el mundo, sobre la metodología y el espíritu de las ciencias naturales contemporáneas.

Cada autor es un notable especialista en el campo de la ciencia cuyos problemas se ha encargado de elucidar. Figuran, entre los autores aludidos, descollantes creadores en las actuales ciencias de la naturaleza. Tanto más valioso resulta y tanto mayor interés presenta el hecho de que todos ellos vean en el materialismo dialéctico el fundamento para comprender los problemas filosóficos que plantea el desenvolvimiento de las ciencias naturales.

El marxismo no es un dogma, sino una guía para la acción. A Lenin le gustaba repetir esta idea, y ella ha servido como de estrella polar cuando se ha emprendido la investigación de los problemas

tratados en el libro. Huelga decir que los autores no coinciden por completo en la manera de ver determinadas cuestiones que atañen a la filosofía y a la metodología de las ciencias naturales contemporáneas. Desde luego, ciertos problemas y ciertas tesis de que se habla en el libro requieren un ulterior examen, realizado con espíritu creador. La filosofía marxista-leninista es una filosofía viva, que se desarrolla y se enriquece con cada nuevo descubrimiento científico, y abrigamos la esperanza de que así se vea, clara y convincentemente, en esta obra.

PRIMERA PARTE

PROBLEMAS GENERALES DE LA FILOSOFÍA, DE LA METODOLOGÍA Y DE LA HISTORIA DE LAS CIENCIAS NATURALES

P. N. FEDOSÉIEV
Académico

LAS IDEAS DE LENIN Y LA METODOLOGÍA DE LA CIENCIA CONTEMPORÁNEA

Dado el carácter de la revolución científica y técnica contemporánea, a medida que aumenta la influencia de las ciencias naturales en el avance de la producción, se va incrementando la ramificación y la interpenetración de las ciencias, y se acelera a ritmos insólitos la acumulación de la información científica, se va haciendo más apremiante la necesidad de generalizar —y de interpretar— en un sentido filosófico los nuevos datos de la ciencia, así como se acrecienta, correspondientemente, el interés por los problemas metodológicos. Y también hoy hallamos, en la herencia ideológica de Lenin, los principios fundamentales para la resolución de estos problemas.

Con el impetuoso progreso del conocimiento científico de los últimos tiempos, las ideas metodológicas cardinales de Lenin no sólo no envejecen, sino que, por el contrario, adquieren un valor y un sentido de actualidad cada vez más relevantes. Ello se explica, ante todo, por la genial clarividencia de Lenin, como pensador y dialéctico, al determinar la esencia de las profundas transformaciones revolucionarias y las tendencias capitales en que se desenvuelve la ciencia moderna. En trabajos de tanta enjundia como *Materialismo y empiriocriticismo*, *Cuadernos filosóficos* y otros, no sólo se generaliza filosóficamente una época entera en el desarrollo de la ciencia, sino que, además, se formulan prognosis metodológicas de excepcional trascendencia sobre el futuro progreso de la ciencia. Cada vez resulta más evidente, por ejemplo, la importancia —radical y creciente— para la metodología de la física de nuestro tiempo, de la idea de Lenin sobre la inagotabilidad del electrón. Es la propia lógica objetiva del avance de la ciencia lo que pone de relieve la actualidad de las ideas de Lenin para la ciencia moderna.

La revolución actual de las ciencias naturales es una prolongación de la que se inició en los primeros años del siglo XX. Lenin generalizó los resultados de la etapa inicial; pero resulta que sus generalizaciones

de principio conservan un significado normativo para la metodología de la ciencia. En efecto, a medida que la ciencia adelanta, las tesis leninistas sobre la necesidad de la dialéctica en física, sobre la inagotabilidad de la materia, sobre la relación entre la verdad absoluta y la verdad relativa y otras, no pierden ni un ápice de actualidad. Es más, lo que era aplicable preferentemente a la física, se hace extensivo a otras ramas del saber. Y la filosofía, claro es, ha de tener en cuenta, en sus categorías, toda esta riqueza, en ininterrumpido crecimiento, del contenido de la ciencia contemporánea.

La nueva época —iniciada con la victoria de Octubre— en la historia del progreso social pone de manifiesto con diáfana claridad la dialéctica del desarrollo social. Al mismo tiempo, en la historia de la ciencia esta época se caracteriza por el fortalecimiento y el desarrollo de la unión creadora del materialismo dialéctico con las ciencias naturales, unión proclamada por Lenin.

El progreso de las ciencias naturales y el desarrollo del materialismo dialéctico

Si nos inspiramos en el espíritu creador de las ideas de Lenin acerca de la metodología de la ciencia, tal como lo defienden todos los partidos auténticamente marxistas-leninistas, reconoceremos necesariamente que la esencia de los preceptos leninistas de carácter metodológico consiste en exhortar a que se desarrolle dialécticamente la filosofía materialista en consonancia con los resultados del conocimiento científico del mundo y de la práctica.

Lenin subrayaba siempre que el dogmatismo y el estancamiento en el pensar conducen de manera indefectible al sectarismo obtuso, a las superficiales tentativas de sustituir el análisis científico de la realidad actual por una consigna del ayer, al alejamiento de la realidad, al aventurerismo en la teoría y en la práctica. La filosofía sólo puede influir sobre el desarrollo de la ciencia perfeccionándose con espíritu creador de cara a las exigencias de las ciencias naturales de nuestra época, en vertiginoso crecimiento. Claro, no hay manera de realizarlo sin elaborar los problemas propiamente filosóficos, sin analizar los conceptos filosóficos y sin estudiar a fondo la historia del conocimiento, la historia de la filosofía. Mas, en el presente caso, se trata de asegurar la interacción más fecunda de la filosofía materialista con las ciencias naturales en las condiciones de la revolución científico-técnica contemporánea. Como es natural, se dedica no poca atención a un problema de añejo abolengo: el de aclarar la mutua relación de la filosofía y de las ciencias naturales en el plano histórico y lógico. Y lo capital, al respecto, está en ver de qué manera el materialismo dialéctico puede facilitar el ulterior progreso de dichas ciencias, y cómo pueden utilizarse los éxitos de las ciencias fundamentales para el desarrollo y el enriquecimiento de la propia filosofía materialista.

En la etapa actual, cada vez adquiere más importancia, para resolver dichos problemas, el análisis de los resultados obtenidos por

las ciencias naturales, el análisis de los procesos reales de interacción en la labor de filósofos y naturalistas, así como de las perspectivas que ofrece su colaboración, cada día más intensa. Para elevar por todos los medios la eficacia de la unión entre las ciencias naturales y la filosofía resulta de excepcional importancia comprender el proceso mismo de desarrollo del materialismo dialéctico, el hecho fundamental, subrayado constantemente por Lenin, de que el auténtico perfeccionamiento de la filosofía marxista se alcanza tomando como base los principios mismos de partida del materialismo y de la dialéctica en lucha contra todas las formas de la ideología burguesa.

En relación con este particular a veces hay quien pregunta: ¿cabe decir que el espíritu creador en filosofía presupone, en última instancia, sustituir el materialismo dialéctico por algún "ismo" viejo o nuevo? Evidentemente, semejante manera de plantear el problema es insostenible. Está en contradicción con la experiencia de la vida. Para impulsar el avance de la filosofía en el siglo XX hay que desarrollar, precisamente, el materialismo dialéctico.

Son por principio ajenas al conocimiento científico las tentativas de negar las tesis básicas del materialismo, como por ejemplo, la del carácter primario de la materia y la teoría del reflejo. Además, no cabe oponer las categorías y los conceptos elaborados por las ciencias naturales contemporáneas a las tesis y categorías fundamentales del materialismo dialéctico. Los filósofos reaccionarios intentan, como antes, reexaminar el concepto de materia, cuyo carácter objetivo pretenden negar. Contraponen a la teoría del reflejo el método de modelación, tan amplia y fecundamente difundido en la ciencia. Procuran enfrentar los conceptos de información y de retroconexión con los conceptos dialécticos de interconexión, interacción; quieren desplazar el concepto de objeto material por el de estructura, etc. Es necesario examinar multilateralmente la correlación entre los conceptos de las ciencias naturales y las categorías del materialismo dialéctico. Ahora bien, teniendo en cuenta el progreso de las ciencias concretas, es necesario desarrollar los fundamentos del materialismo dialéctico e histórico, sin olvidar, a la vez que es preciso defender la filosofía marxista y reforzar la lucha contra la ideología burguesa.

La tesis marxista sobre la verdad absoluta y la verdad relativa es totalmente aplicable, como es natural, a la propia filosofía. Porque, como indicaba ya Engels, cuanto más complejo es el campo del saber, cuanto más nos apartamos de los objetos materiales inmediatos, tanto menos vemos las verdades absolutas. Está fuera de toda discusión, sin embargo, que la filosofía del materialismo, a lo largo de muchos siglos, ha elaborado varios principios que sirven de base para los nuevos adelantos del saber. Seríamos unos dogmáticos contumaces si no viéramos la relatividad de muchas tesis concretas de la filosofía y no comprendiéramos la necesidad de desarrollarlas o de puntualizarlas. Pero caeríamos en el relativismo y, a final de cuentas, en el idealismo, si admitiéramos que el progreso de la filosofía presupone la negación de sus fundamentos, de sus principios intangibles.

Tales principios existen. En ellos nos apoyamos y estamos obligados a apoyarnos en interés del propio conocimiento científico, en interés de la verdad.

Conocida es la tesis de Engels (que Lenin aclaró y desarrolló) según la cual con cada gran descubrimiento en el campo de las ciencias naturales, sin hablar ya de la vida social, el materialismo tiene que adoptar una nueva forma o modificar la que presenta. Mas ni Engels ni Lenin se referían, naturalmente, a los descubrimientos importantes que se realizan todos los años. De lo que se trata es de descubrimientos que modifiquen de raíz nuestras representaciones de la realidad. Son, precisamente, estos descubrimientos que forman época los que enriquecen al materialismo.

Tenemos, pues, que en la importante cuestión del desarrollo auténticamente científico de la filosofía ante el influjo de los nuevos datos de la ciencia y de la práctica —como sucede con toda cuestión seria— es del todo inadmisible el enfoque superficial y sensacionalista, con sus vaivenes de un extremo a otro, con su tendencia a revisar al tuntún hasta los fundamentos de nuestra concepción del mundo, sin analizar a fondo los hechos que dan pie al nuevo examen, actuando a menudo bajo la efímera influencia de aspectos transitorios en el desenvolvimiento de la cognición y de la misma realidad. Pero el quid no radica sólo en esto. Es indispensable recalcar que el desarrollo científico del materialismo no sólo implica conservar su contenido, sino, además, reforzarlo. Como dijo con gráfica expresión Lenin, la filosofía marxista es íntegra, está "fundida de una sola pieza de acero".

Sería erróneo plantear la cuestión de esta suerte: como quiera que Marx, en sus famosas *Tesis sobre Feuerbach* criticó el viejo materialismo ante todo por su carácter contemplativo, por su subestimación de la actividad real del sujeto, y como quiera que en el siglo XX las dimensiones y la función de esta actividad en la transformación del ser han aumentado inconmensurablemente, hay que renunciar a la concepción del mundo como realidad objetiva y tratar de él como actividad. ¿Constituiría esto un desarrollo de la filosofía científica? A semejante pregunta puede responderse sin vacilación alguna negativamente.

Construido que hubo el materialismo "hasta arriba", es decir, cuando hubo fundamentado la concepción materialista no sólo de la naturaleza, sino, además, de la vida social, Marx demostró que ésta tiene en esencia un carácter práctico, y proclamó la práctica como fundamento de la historia y del conocimiento humano, como criterio de la verdad. A comienzos de nuestro siglo, Lenin dio mayor alcance a estas tesis en sus admirables libros *Materialismo y empiriocriticismo* y *Cuadernos filosóficos*. Nosotros, materialistas de la segunda mitad del siglo XX, prosiguiendo la línea marxista-leninista, tenemos que decir: por poderosa que llegue a ser la actividad humana en su acción transformadora del medio, el mundo jamás se reducirá a tal actividad. En efecto, el hacer humano es una relación activa del hombre con el medio real que le rodea. El alcance de semejante actividad está en función de la maestría del sujeto para reflejar la realidad objetiva.

El olvido de esta exigencia fundamental del materialismo conduce inevitablemente al voluntarismo y al aventurerismo.

La ciencia es eficaz tan solo en la medida en que refleja certeramente tanto el estado actual de la realidad objetiva como las tendencias del desarrollo de la misma en el futuro. Al caracterizar este aspecto de la cuestión, podemos detenernos en un difundido equívoco. A menudo se cita la siguiente sentencia de los *Cuadernos filosóficos*: "La conciencia del hombre no sólo refleja el mundo objetivo, sino que, además, lo crea"; pero no se para mientes en que, en este caso, Lenin resume las ideas de Hegel sobre el tránsito de la idea, del concepto, a la acción práctica. La comprensión materialista de dicha tesis consiste, según Lenin, en que "el mundo no satisface al hombre, y el hombre con su acción decide transformarlo" [1]. Nosotros no cumpliríamos el precepto de Lenin sobre la transformación materialista de Hegel si confundiéramos las declaraciones idealistas de este filósofo con la interpretación materialista de las mismas.

¿Es válido el argumento de que sólo puede existir la dialéctica de la "naturaleza hominizada", es decir, de la naturaleza dominada por el hombre, y de que es ilícito transferir los resultados de esta dialéctica a la naturaleza toda? Polemizando contra este planteamiento del problema, Lenin hace ya sesenta años demostraba que la tesis, asentada en toda la experiencia de la humanidad, sobre el carácter material del mundo podía hacerse extensiva con absoluta legitimidad a todo el orbe, es decir, incluso a aquellas de sus esferas en las que todavía no habían penetrado la práctica ni el conocimiento.

A veces surgen errores al analizar el estado actual del problema concerniente a la relación entre materialismo y humanismo. No es posible contraponerlos uno a otro o sustituir el primero por el segundo. Sería una equivocación afirmar que la ideología que responde a las ciencias naturales contemporáneas, que penetran en el cosmos y en el micromundo, que se aproximan a la síntesis de la albúmina viva y al descubrimiento de los enigmas de la célula y que han creado máquinas lógicas es la ideología del humanismo naturalista, y no la del materialismo. El humanismo auténtico sólo puede fundarse en el auténtico materialismo. Todo enfoque distinto de esta cuestión conduce a replegarse del materialismo científico, dialéctico, y volver al materialismo precientífico, antropológico. Criticando a Feuerbach y en cierta medida a Chernishevski por su antropologismo, por su doctrina abstracta acerca del hombre, Lenin puso en claro que ese antropologismo no pasa de ser un pálido y débil ensayo de materialismo [2]. La solución auténticamente científica del problema de cómo reforzar el nexo entre el sujeto y el objeto en la ciencia contemporánea no estriba en regresar al materialismo del siglo XIX, sino en cultivar la doctrina concerniente al hombre (al sujeto) a la luz del materialismo del siglo XX.

Al hablar del desarrollo del materialismo conviene dejar bien

---

(1) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 195.
(2) Ver *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 64.

sentado que Engels y Lenin no pensaban en someter a nuevo examen los principios mismos del materialismo bajo el influjo de los magnos descubrimientos de la ciencia, sino las tesis relacionadas con las generalizaciones filosóficas de las ciencias naturales. Es en este sentido, como se sabe, en el que utilizó Lenin la palabra "revisión". Desde luego, cuando hablamos del desarrollo de la filosofía marxista nos referimos al de sus principios básicos, al de sus leyes y categorías, y también a la comprensión de sus interconexiones, es decir, tratamos del desenvolvimiento del método o de la metodología general, así como del desarrollo de los fundamentos de la ciencia relacionados con la concepción del mundo. Y lo más importante para los filósofos es la interpretación materialista, en colaboración con los naturalistas, de los nuevos datos y conceptos que la ciencia proporciona.

Para afianzar esta tesis conviene presentar algunos ejemplos. Examinemos el concepto de estructura que ocupa ahora uno de los puestos más importantes en la ciencia en general y que refleja, como es notorio, el carácter de la conexión de los elementos de un sistema íntegro. Claro, cabría añadir simplemente esta categoría a otras categorías filosóficas, y no ir más allá en el "desarrollo" del materialismo dialéctico. O bien podría declararse esta categoría solamente científico-natural, sin relación alguna con la filosofía, y proseguir la enumeración de las categorías filosóficas como antes, al margen de que haya aparecido la categoría citada. Sin embargo, la historia de la filosofía nos indica que el materialismo no ha progresado de este modo: ni incluyendo mecánicamente las categorías científico-naturales en la filosofía ni haciendo caso omiso de ellas.

Veamos, al respecto, la evolución de la manera de comprender el objeto material desde el punto de vista de la dialéctica de su forma y de su contenido.

En la filosofía de la Antigüedad clásica, por ejemplo en Aristóteles, la forma se entendía como parte activa, constructiva, creadora y formadora; en cambio la materia representaba, por así decirlo, la parte pasiva. Por el contrario, en el período en que predominó la visión mecanicista del mundo, la forma se concibió como envoltura externa, como configuración del objeto material sin lazo alguno con su esencia interna, con su estructura.

El materialismo dialéctico planteó de manera radicalmente distinta el problema de forma y contenido, y la intelección del objeto material adquirió una profundidad sensiblemente mayor: la forma empezó a verse no como envoltura externa, sino como estructura interna del contenido. Si examinamos las obras clásicas del marxismo podemos observar que el concepto de estructura está aplicado con sumo acierto y eficacia en el análisis de los fenómenos sociales. Y esta aplicación se hizo mucho antes de que en las ciencias naturales contemporáneas el concepto de estructura adquiriese un rango esencial y universal.

Así, para Marx en *El Capital* el concepto de estructura económica de la sociedad constituye —cabe afirmarlo— el fundamento del análisis teórico. Sobre esta base se han desarrollado y analizado, en el

marxismo, conceptos como el de estructura de la sociedad y de clase social. Ahora no hay manera de analizar los fenómenos sociales sin echar mano de los conceptos, elaborados por el marxismo, de estructura social, estructura de clase y estructura económica de la sociedad. Y cuando los sociólogos burgueses se atribuyen el "descubrimiento" del concepto de estructura hablando de enfoque estructural o sistemático-estructural, etc., ello no responde, de ningún modo, a la auténtica realidad de las cosas.

Hoy prosiguen la investigación materialista dialéctica del concepto de estructura los naturalistas y los filósofos materialistas en mancomunado esfuerzo. Podemos remitirnos, a guisa de ejemplo, al trabajo *Estructura y forma de la materia*, publicado por la Academia de Ciencias de la U.R.S.S. en 1967 como uno de los tomos de la serie *El materialismo dialéctico y las ciencias contemporáneas.*

Además, cuando se trata del análisis metodológico de los conceptos de información y de retroconexión, ligados a la cibernética, lo que se ha de hacer es confrontar dichos conceptos con el desenvolvimiento de las categorías filosóficas, ante todo de categorías como interacción e interconexión, que caracterizan interrelaciones muy complejas de los objetos en todas las esferas del mundo material. Se abre en este dominio un ancho campo a la investigación creadora.

En los últimos años han alcanzado suma trascendencia los trabajos filosóficos sobre modelación[3]. Importa mucho tener en cuenta, al respecto, que no existe razón alguna para contraponer la modelación a la teoría del reflejo. De lo que se trata es de otra cosa, a saber: de que la filosofía ha de tomar en consideración este raudo proceso de desarrollo de la ciencia contemporánea en el que nacen nuevas ideas y nuevas concepciones, y ha de amoldarse a tales concepciones y teorías, debe hacerlo, como decía Lenin, en el sentido de interpretarlas con acierto, generalizarlas y comprenderlas. Lo cual es posible, precisamente, gracias a la flexibilidad objetiva de la filosofía materialista dialéctica sin trocarse, claro está, en relativismo. He aquí por qué razón resulta ahora imposible analizar y presentar las categorías filosóficas tal como se hacía en el siglo XIX y a comienzos del XX.

Filósofos y naturalistas han de enriquecerse mutuamente. Los primeros han de tener en cuenta, en las leyes y categorías, el movimiento del saber contemporáneo. Los segundos, por su parte, no han de oponer las categorías de las ciencias especiales a las categorías filosóficas, sino que han de ver su interconexión.

Sería peligroso admitir una separación y ruptura en la aplicación de las categorías de las ciencias naturales y de la filosofía. Ello redundaría en perjuicio de las primeras y de la segunda. En efecto, la filosofía se despegaría de la ciencia. Quedaría condenada al escolasticismo y dejaría de desempeñar un papel activo en el progreso del saber de nuestro tiempo. Por otra parte, en las ciencias naturales las categorías de las ciencias especiales no tendrían más que un significado

---

(3) El término "*modelírovanie*" se traduce a veces por "simulación" (N. del t.).

técnico. A ello va ligado el peligro de que penetre la ideología reaccionaria cuando la concepción científica y fáctica del mundo se sustituye por categorías de orden puramente formal. Además, en este caso, las ciencias naturales perderían el instrumental metodológico del conocimiento científico en su totalidad. Naturalmente, cada ciencia tiene sus generalizaciones teóricas. Hay ciencias que sirven de herramienta de generalización para todo un grupo de ramas diversas de las ciencias naturales. Pero no ver sus nexos e interacciones con las categorías filosóficas generales significa perder una ventaja muy valiosa que proporciona la filosofía, a saber: su instrumental metodológico, que se enriquece a medida que se van elaborando las cuestiones metodológicas de las ciencias.

Así como Lenin, partiendo del espíritu creador del materialismo dialéctico, dio una profunda interpretación científico-filosófica a la revolución que se produjo en las ciencias naturales a comienzos del siglo XX, también en nuestros días, sobre esa misma base teórica desarrollada, se elabora una representación acertada del ingente cambio científico y técnico que actualmente se está operando.

La metodología y el desarrollo de las ciencias naturales contemporáneas

Cuando se examina el problema de la interacción de la filosofía materialista dialéctica con las ciencias naturales, aparece en el primer plano la unidad de las facetas teórico-ideológicas y lógico-metodológicas de las investigaciones filosóficas. Con frecuencia al tratar de las perspectivas que ofrece el desarrollo de estas últimas se contraponen, y hasta se desconectan, la concepción del mundo y la lógica, la metodología. A menudo se hace hincapié en los problemas metodológicos de la ciencia, pero se subestima —si no se niega en redondo— el significado de las bases que tiene la ciencia en la concepción del mundo y el de las conclusiones ideológicas que del desarrollo de la ciencia se infieren.

Se comprende perfectamente que la manera de interpretar el concepto de materia y el concepto de ley a la luz de los datos que hoy nos proporcionan las ciencias naturales, la clasificación de las especies de materia en la naturaleza y, correspondientemente, la clasificación de las ciencias, sean cuestiones que no pierdan su importancia ni en el aspecto teórico ni en el ideológico. Es más, las propias investigaciones sobre los problemas metodológicos de las ciencias naturales no pueden verse coronadas por el éxito si no se asientan en una concepción del mundo bien cimentada. En el método se resume la teoría filosófica. De ahí que la eficacia del método dependa esencialmente de la esencia ideológica de la teoría que el método resume. La unidad del método dialéctico y de la teoría materialista constituye el inconmovible sostén del carácter científico de nuestra filosofía. Es precisamente partiendo de esta tesis como puede llegarse a la comprensión racional del hecho de que en la etapa actual a filósofos y a naturalistas se les planteen en un primer plano las cuestiones que atañen a

la metodología de la ciencia. Dicha tendencia, en el fondo, no significa que se menoscabe el papel de la concepción del mundo, sino que señala tan solo una penetración más compleja y mediata de la concepción del mundo en la trama misma de las ciencias naturales, ante todo a través de la metodología.

El creciente papel de la metodología —de la doctrina filosófica general sobre el método de la acción práctica y del conocimiento científico— queda determinado por dos circunstancias objetivas.

En primer lugar, el incremento del saber presupone no ya un dominio cada vez mayor del objeto del conocimiento, sino, además, una acumulación de datos acerca del proceso mismo del conocer. Cada vez adquiere mayor relieve "la ciencia de la ciencia" en cuyo centro de atención se encuentran, como es natural, las cuestiones metodológicas concernientes a los caminos que nos llevan a un conocimiento más eficaz del mundo.

En la resolución de tales problemas constituiría sencillamente un error dejar de utilizar la riquísima experiencia que, en lo tocante a la elaboración de métodos, se encierra en la filosofía del materialismo y en los elementos racionales de las doctrinas idealistas. Porque, como escribió Engels, "también la lógica formal es, ante todo, un método de indagación de nuevos resultados, de progreso de lo conocido a lo desconocido..."(4) Con un fundamento inconmensurablemente mayor atañe esto a la dialéctica y en general a los procedimientos contemporáneos de análisis lógico. De esta suerte, el crecimiento mismo del saber, el desenvolvimiento de las nuevas tendencias de formalización, de matematización, etc., de los conocimientos exigen que se analice la lógica de la ciencia desde un punto de vista filosófico.

En segundo lugar, ha contribuido asimismo al aumento del papel de la metodología en la ciencia contemporánea el hundimiento, ya en el siglo XIX, del proceder especulativo de la vieja filosofía natural. En épocas anteriores la influencia de esta filosofía sobre la ciencia natural se hallaba históricamente justificada, era inevitable y hasta cierto tiempo resultó fecunda. En el mundo greco-latino no se disponía de datos experimentales para crear una teoría atomística, y se formuló con los procedimientos propios de la filosofía naturalista. De este modo la filosofía colmaba —a veces mal, a veces bien— las lagunas que había en las ciencias naturales.

Pero en el siglo XIX llegó a su término la filosofía natural, pues las ciencias naturales adquirieron hasta tal punto una base propia que ya no hacía falta dicha filosofía para resolver los problemas especiales de estas últimas. Hablamos del fin de la filosofía natural no en el sentido de que la naturaleza dejara de ser objeto del pensamiento filosófico. La cuestión pueden plantearla así los positivistas, pero no los partidarios de la dialéctica materialista. Las leyes más generales del ser, y entre ellas, por consiguiente, las leyes más gene-

---

(4) C. *Marx* y F. *Engels*, "Obras", t. XX, pág. 138 (F. *Engels*, "Anti-Dühring", Ediciones Pueblos Unidos, tercera edición, Montevideo, 1961, pág. 163).

rales del desarrollo de la naturaleza, eran y siguen siendo objeto de la dialéctica materialista. Consideramos indiscutible que existe la dialéctica de la naturaleza, que existe una filosofía de las ciencias naturales o, como decimos ahora más a menudo, que existen problemas filosóficos de esta ciencia. Pero nosotros negamos la filosofía natural en un sentido específico, a saber: como método para resolver los problemas de las ciencias naturales por medio de razonamientos exclusivamente filosóficos.

La posición filosófico-naturalista ante los problemas metodológicos de la ciencia natural lleva inevitablemente a imponer una determinada concepción a dichas ciencias. En determinadas condiciones esto se convierte en un proceder por decreto. Sabemos a qué conduce semejante proceder en las cuestiones metodológicas de las ciencias naturales. La ingerencia incompetente de algunos filósofos en las ciencias que tratan de la naturaleza tuvo desagradables y penosas consecuencias, dio origen a relaciones malsanas entre los filósofos y los especialistas en ciencias naturales. Todos recordamos muy bien los ataques de algunos filósofos a la teoría de la relatividad, a la cibernética, a la genética, etc. Semejante intromisión y, por ende, ese criterio filosófico-naturalista incompatible ahora con la interacción realmente fecunda del materialismo dialéctico con las ciencias naturales, se han condenado. Actuar según dicho criterio significa desacreditar la filosofía, y no se debe tolerar que renazca de ningún modo esa actitud ni que se reincida en provocar tal descrédito.

El influjo que la filosofía ejerce sobre las ciencias naturales se realiza ante todo a través de la concepción del mundo y de la metodología científica. Cierto, aún existe algún filósofo capaz de considerar que el propio concepto de metodología es una invención burguesa, propia de un Mach, o algo peor todavía. Desde luego, este es un equívoco que puede provocar graves daños, pues negar la función metodológica de la filosofía respecto a las ciencias naturales nos llevaría otra vez al renacimiento de la concepción filosófico-naturalista.

Notoria es la colosal importancia que asignaba Lenin al método materialista dialéctico de Marx para el análisis de los fenómenos sociales. "La elaboración de una nueva teoría metodológica y político-económica —escribe— significó... un progreso gigantesco de las ciencias naturales... un gigantesco paso adelante del socialismo..." (5)

Una función no menos esencial asignaba Lenin a la metodología marxista para las ciencias naturales. El materialismo dialéctico como metodología de estas ciencias ayuda a generalizar y a interpretar con acierto los nuevos datos científicos. En las circunstancias actuales, cuando las ciencias naturales buscan en ímproba tensión una nueva teoría generalizadora y nuevas ideas, resulta singularmente importante prestar atención a las cuestiones metodológicas. En esto, precisamente, consiste avanzar por el camino que lleva al enriquecimiento y al desarrollo del materialismo dialéctico, y en ello radica su influencia capital sobre el progreso de la ciencia. No comprenderlo así, ahora, significa

(5) *V. I. Lenin*, "Obras", t. I, pág. 275.

no comprender ni la activa función de la filosofía ni las vías de su desarrollo creador.

En los últimos años se va descubriendo de manera más cabal y profunda la inmensa trascendencia de la herencia filosófica de Lenin para las ciencias naturales contemporáneas; se ha hecho un balance de las discusiones, sostenidas con espíritu creador, en torno a los problemas filosóficos esenciales de la mecánica cuántica, de la teoría de la relatividad, de algunas cuestiones metodológicas de cosmología, de cibernética, de la incidencia de la física y de la química en la investigación de los procesos biológicos, así como en torno a los problemas del origen de la vida, de la relación entre la fisiología de la actividad nerviosa superior y la psicología, y otros. Todo ello ha permitido entender mejor los grandiosos resultados de las ciencias naturales contemporáneas desde las posiciones de la filosofía auténticamente científica: el materialismo dialéctico.

El materialismo dialéctico y la unidad de las ciencias

Entre las cuestiones filosóficas de las ciencias naturales de nuestro tiempo adquiere una importancia cada día mayor el problema de la interconexión de las ciencias. En esencia éste es el problema de la unidad del mundo y las peculiaridades específicas de sus diversas esferas y, en consonancia con ello, el del árbol único del conocimiento científico y de la peculiaridad cualitativa de las diferentes ramas de la ciencia. Los pasmosos éxitos de la ciencia actual han ahondado y ampliado en proporciones gigantescas el saber humano. Los exponentes más brillantes de este proceso consisten en haber penetrado en el terreno de los microprocesos y haber dominado la energía atómica por una parte, haber irrumpido en el cosmos y haber iniciado una nueva etapa en el estudio del Universo por otra. Al mismo tiempo, ciencias distintas se entrelazan íntimamente, penetran mutuamente en sus respectivos dominios. La investigación de este proceso por parte de filósofos y naturalistas es de sumo valor teórico y práctico.

En la historia de las ciencias naturales actúan dos tendencias directamente opuestas y, a primera vista, excluyentes entre sí. Consiste una en la desmembración y ramificación de las ciencias, en su diferenciación; la otra, por el contrario, induce a unir las ciencias separadas y a formar con ellas un sistema general del conocimiento científico, es decir, es una tendencia integradora. En un principio, las dos tendencias actuaban independientemente, aunque hasta cierto punto se condicionaban una a otra. En las diferentes etapas del progreso científico ha imperado ora una de dichas tendencias ora otra. Hoy se observa su unidad orgánica: cuanto más lejos llegan la diferenciación y la ramificación de las ciencias, tanto más refundidas, íntegras y cohesionadas se van haciendo las propias ciencias naturales.

El hecho se explica porque las ciencias que actualmente surgen en vez de ahondar, como sucedía antes, la separación de las ramas del saber, liquidan, por el contrario, el aislamiento que entre ellas existía antes. Si a mediados del siglo pasado la física y la química

se encontraban aún disociadas, la química-física, nueva ciencia surgida a finales del siglo pasado, las unió, y de manera tan estrecha que las dos ciencias empezaron a penetrar literalmente una en otra: el tajante límite que entre ellas había existido desapareció. Son muchos los procesos acerca de los cuales hoy resulta incluso imposible decir si son físicos o químicos, dado que poseen a la vez el carácter de unos y otros. La físico-química, surgida ya en nuestro siglo, es otra importante zona de contacto de la física con la química, donde se descubren su profunda conexión y su tránsito recíproco.

Lo mismo sucede en la linde de la química con la biología por una parte, de la química con la geología por otra, es decir, en los puntos en que la química entra en contacto con la ciencia de la naturaleza viva y con la ciencia de la naturaleza inerte. La bioquímica, la geoquímica, la biogeoquímica, todas estas disciplinas son ramas del saber que si bien han surgido como una mayor diferenciación de las ciencias, en vez de separarlas más, las ha llevado a interpenetrarse profundamente. De esta suerte, la dialéctica del desarrollo del conocimiento científico aparece en forma de condicionabilidad recíproca de dos tendencias opuestas: la de diferenciación y la de integración de los conocimientos. Este es uno de los rasgos más característicos de las ciencias naturales contemporáneas.

La creciente vinculación recíproca de las ciencias entre sí se explica por el hecho de que las ciencias naturales penetran cada día más a fondo en la dialéctica de la naturaleza. El conocimiento científico es un reflejo del objeto, que posee existencia real, con todas las propiedades y leyes que le son inherentes. La interconexión de las diferentes ramas de la ciencia contemporánea es un exponente de las conexiones objetivas de la naturaleza. La recíproca penetración de las ciencias naturales constituye una prueba de que la naturaleza en su fundamento es una, representa la unidad de una multiplicidad: ninguna de sus esferas está aislada de las restantes, cada una de ellas se encuentra vinculada a las demás directa o indirectamente, y todas se hallan unidas por millares de diversos lazos, tránsitos y modificaciones.

Para comprender de qué manera la interpenetración de las ciencias refleja la unidad de la naturaleza es necesario tener en cuenta que ésta aparece ante nuestra mirada intelectiva como una serie consecutiva de grados en el desarrollo de la materia y en las formas de su movimiento, empezando por las más sencillas y conocidas y terminando por el hombre, con el cual el proceso de desarrollo sale del marco de la naturaleza propiamente dicha y pasa al campo de la historia de la sociedad. Todas las formas más complejas del movimiento de la materia y sus especies, hasta el mismísimo hombre, han surgido históricamente y se han desarrollado a partir de formas físicas más sencillas del movimiento de la materia y sus especies. Con la particularidad de que cada vez se han producido profundos cambios cualitativos, saltos dialécticos al pasar de un grado de desarrollo a otro más complejo o más elevado.

Es bien notorio que el progreso del conocimiento científico de nuestra época va estrechamente unido a su diferenciación. No sólo van

surgiendo constantemente nuevas corrientes científicas, sino, además, nuevas disciplinas. En el siglo del impetuoso incremento de la cantidad de información científica, semejante especialización tanto de las ciencias como de los científicos es inevitable y está justificada. Contribuye a elevar el rendimiento del trabajo de investigación. Al mismo tiempo, sería un tremendo error cerrar los ojos ante las tendencias sombrías y hasta peligrosas para la ciencia a que da origen la especialización desmesurada.

En virtud de la ley dialéctica de la contradicción, a medida que los conocimientos van diferenciándose más y más, surge la necesidad de una síntesis capaz de superar el fraccionamiento de las disciplinas científicas. Es a todas luces evidente que en nuestra época tal síntesis de conocimientos no sólo ha de abarcar las ciencias naturales, sino, además, las sociales. La implantación de métodos exactos en las disciplinas sociales adquiere especial significado para los países socialistas, que perfeccionan su economía partiendo de principios científicos.

La tendencia a aproximar e incluso, en cierto sentido, a enlazar las ciencias naturales y las ciencias sociales es extraordinariamente importante sobre todo en el plano filosófico. La vieja filosofía en distintas etapas y formas reconocía calladamente, o llegaba a proclamar, la falta de conexión entre los dos tipos de ciencias citadas. En Hegel, el principio de desarrollo es válido para la sociedad, pero no actúa en la naturaleza. En Feuerbach, el materialismo en la intelección de la naturaleza se combina con el idealismo en la concepción de la sociedad. Quienes formularon de manera más tajante esta escisión fueron los neokantianos, para los cuales las ciencias de la naturaleza tratan de leyes, mientras que las ciencias de la sociedad describen fenómenos individuales por su carácter, no repetibles. El materialismo dialéctico rompió esta barrera filosófica proporcionando a la sociología una base científica, y se convirtió en el instrumento que permite superar las contradicciones entre el desarrollo de las ciencias naturales y el de las ciencias sociales.

La interacción de las ciencias pasa a ser un factor capital de su avance. Las ciencias naturales contemporáneas representan un poderoso estímulo para el crecimiento de las ciencias sociales. Las concepciones sobre la objetividad de las leyes en las ciencias naturales adquirieron carta de naturaleza antes que en las ciencias sociales. La idea de variabilidad, de desarrollo, de transformación de los fenómenos se consolidó en biología, en geología y en fisiología antes de que penetrara en la sociología. Las ciencias sociales también han recibido de las naturales y de la técnica los métodos del análisis cuantitativo exacto. Mas, por otra parte, la filosofía y las ciencias sociales no sólo ponen de manifiesto las condiciones más favorables para el progreso científico y técnico, no sólo contribuyen a eliminar los obstáculos que lo dificultan, sino que, además, enriquecen las ciencias naturales con ideas y conceptos fecundos.

En filosofía, la idea de ley de desarrollo y cambio se enunció muchos siglos antes de que se aceptara en las ciencias naturales. La teoría atómica se expresó asimismo miles de años antes de que

tomara el aspecto de teoría científico-natural y se demostrara experimentalmente. La idea de ley estadística entró firmemente en la sociología con anterioridad a su afirmación en la física del micromundo.

La historia del materialismo dialéctico nos ofrece un luminoso ejemplo de cómo la filosofía influye sobre las ciencias naturales. En el siglo pasado, entre los físicos dominaban todavía las representaciones del "espacio absoluto" y del "tiempo absoluto" como formas externas aisladas de la materia y una de la otra; el materialismo dialéctico, en cambio, demostró convincentemente que el espacio y el tiempo se hallan indisolublemente ligados a la materia y entre sí. Al iniciarse el siglo XX, los naturalistas empezaron sólo a plantearse el problema de la complejidad estructural del átomo, la mayoría de los científicos trataban aún del electrón como de la última "esencia del mundo, absolutamente invariable" e indivisible, mientras que Lenin, dialéctico eximio, ya llegaba a la conclusión de que no existen esencias últimas, finales, invariables e indivisibles de ninguna clase, y de que la materia es inagotable en profundidad; el electrón es tan inagotable como el átomo.

El problema de la interconexión de las ciencias es el de la unidad del mundo y de la peculiaridad cualitativa de sus distintas esferas. De ahí se deriva el problema metodológico, de suma trascendencia, sobre la base única del conocimiento científico y de las características específicas del objeto y del método de cada una de las ciencias.

En la presente fase evolutiva de las ciencias naturales, el análisis de las interrelaciones de las ciencias tiene una significación actual, teórica y práctica. Sin comprender acertadamente el papel y el lugar de las diversas ciencias en el sistema general de los conocimientos de hoy, sin aclarar con exactitud los principios que forman la base que permite a las diferentes ciencias unirse entre sí y correlacionarse con otras ramas del saber, es imposible evitar muchas dificultades serias, choques y graves consecuencias negativas. La subestimación de las leyes generales de la naturaleza, y el desmesurado aislamiento de las ciencias hace que los éxitos obtenidos en umas zonas del conocimiento científico no se aprovechen para que se avance en otras zonas.

De esta suerte, lo que puede alcanzarse con relativa facilidad y rapidez mediante una razonable cooperación de esfuerzos, exige una labor larga y difícil si las ciencias están aisladas unas de otras. Por otra parte, el hacer caso omiso de la particularidad cualitativa de las ciencias, la burda y a menudo incompetente intromisión de los representantes de una ciencia en las cuestiones de otra sin tener en cuenta las singularidades específicas de esta última, fácilmente provoca choques innecesarios y a menudo es causa de una vana pérdida de energías y de tiempo, acompañada de inútiles tensiones nerviosas.

Si no se enfocan con acierto metodológico las cuestiones de la relación entre las ciencias, los impetuosos éxitos en una de ellas pueden engendrar tendencias que en vez de favorecer el progreso de otras llegue hasta a frenarlo. La dialéctica enseña que a raíz de los cambios cualitativos surgen nuevas leyes que no pueden identificarse con las de formas más simples de movimiento o reducirse a ellas. Sin tomar

en consideración la singularidad cualitativa de los fenómenos y de sus leyes específicas, no puede haber un conocimiento científico.

En el plano filosófico resulta fundamental elaborar la categoría de ley, de regularidad sujeta a ley. Es perfectamente comprensible que la investigación de las manifestaciones de la categoría de ley tanto en las ciencias de la naturaleza como en las ciencias sociales tenga una misma importancia. Muchos científicos de los países burgueses contraponen, como es notorio, las ciencias sociales a las ciencias naturales negando directa o indirectamente las leyes de desarrollo de la sociedad. Una parte de los historiadores de Occidente, destacando tan solo las peculiaridades de los acontecimientos históricos y haciendo abstracción de lo análogo y general, hablan de los acontecimientos del pasado como si poseyeran, éstos, una individualidad completa, y sostienen que es imposible generalizar. Sin embargo, resulta mucho más fuerte, entre los historiadores de los países burgueses, la inclinación a generalizar una determinada forma exterior de los fenómenos históricos al margen de contenidos históricos concretos.

Las tentativas de este género están muy lejos de la ciencia auténtica. Fijémonos en las tendencias al "ciclismo", tan populares. Los adictos a las concepciones cíclicas (los partidarios de Spengler o de Toynbee) destacan tan solo los aspectos análogos de fenómenos que se dan en épocas totalmente distintas y pasan por alto en absoluto lo específico y peculiar en los fenómenos de este género. En realidad, sin embargo, la analogía se explica, como es notorio, por el carácter que presenta el desarrollo de la sociedad, desarrollo que se hace en espiral y en el que el movimiento ascendente forma una unidad con los elementos de los ciclos. Quienes mantienen la idea de los ciclos, al fijarse tan solo en la mera repetición procurando demostrar la inexistencia de lo peculiar, niegan la doctrina de las formaciones económico-sociales, niegan el progreso social. De manera indirecta, niegan las leyes efectivas del devenir social.

Las concepciones de la teoría cíclica se estiman como "arma eficaz" contra el marxismo. Los investigadores marxistas, en consecuencia, han de desenmascarar con todo rigor a los nuevos valedores de dicha doctrina. La crítica en este sentido es especialmente importante porque a muchas de las formulaciones de la teoría de los ciclos les son inherentes estados de ánimo pesimistas y apocalípticos. Al criticarlos, es esencial tener en cuenta asimismo que los elementos de extrema derecha de la historiografía burguesa también arremeten a fondo contra las teorías cíclicas, pues niegan toda ley en el proceso histórico y consideran que no existe posibilidad alguna de conocerlo.

Actualmente, contribuye a superar las teorías anticientíficas en las ciencias sociales la tendencia a la aproximación, cada vez más intensa, de dichas disciplinas con las naturales. En el desenvolvimiento de esta tendencia y teniendo por base el materialismo dialéctico, se realiza la síntesis filosófica general del saber; de este modo, el materialismo dialéctico sirve de método seguro para conexionar las ciencias naturales y las sociales. La tendencia misma hacia la síntesis de todos los

conocimientos de ambos tipos de ciencias presupone la existencia de una base filosófica auténticamente sintética. Su elaboración se llevó a cabo —sabido es— en medio de una compleja y enconada lucha.

El nivel a que llegó la ciencia en las décadas tercera y cuarta del siglo pasado dio al traste con los métodos especulativos. Las tentativas que aún siguieron realizando algunos filósofos para resolver con un criterio puramente especulativo los problemas que surgieron en las ciencias naturales llevaron a un descrédito rotundo de la filosofía naturalista y ello minó, a los ojos de muchos científicos, la autoridad de que antaño gozara, en general, todo el pensamiento filosófico. La situación que se produjo en la ciencia dio origen, como se sabe, al positivismo. Su fundador, Augusto Comte, y tras él todas las corrientes del positivismo tanto del pasado como de nuestra época, han negado la filosofía, por la que entendían, en esencia, su aspecto ideológico. El que los positivistas se aplicaran a investigar numerosos problemas de la lógica formal, incluyendo los problemas de la experiencia, del objeto y de la clasificación de las ciencias, de la lógica matemática, del análisis del lenguaje de la ciencia y muchos otros, atrajo al positivismo a amplios círculos de naturalistas. Al mismo tiempo, los positivistas circunscribían la filosofía al círculo indicado de problemas, se negaban a examinar los concernientes a la concepción del mundo, que declaraban "desprovistos de sentido", es decir, "no-verdaderos" y "no-falsos".

Había positivistas ateos (por ejemplo, E. Mach), pero sus manifestaciones contra el materialismo no sólo hacían endeble e inconsecuente la argumentación atea, sino que, objetivamente, favorecían a la teología. Otros positivistas (John S. Mill, H. Spencer, L. Wittgenstein y otros) defendían más o menos francamente la fe religiosa, criticaban las cuestiones relativas a la concepción del mundo, las declaraban inaccesibles a la razón y las relegaban a la esfera de lo místico. Dicho con otras palabras: los positivistas instaban a los naturalistas a investigar única y exclusivamente los hechos (interpretados, dicho sea de paso, en un sentido subjetivo idealista), dejando los problemas sobre la naturaleza de las cosas y la causalidad del mundo más allá de las ciencias naturales y de la filosofía.

Semejante planteamiento del problema dejaba, directa o indirectamente, las cuestiones de la concepción del mundo a la plena merced de los teólogos, abría el camino a los tomistas, que han intensificado su influencia a lo largo del último medio siglo. La posición de los tomistas, rebasada la mitad del siglo XX, se diferencia de las orientaciones de los positivistas. Actualmente, la tendencia principal de los primeros consiste en analizar los problemas de la concepción del mundo, de la esencia del ser, del comienzo y fin del orbe, del origen de la vida, mientras que dejan que sean los científicos quienes se ocupen de resolver los problemas concretos de las ciencias naturales. Algunos teólogos, entre ellos teólogos tomistas, continúan la anterior línea de los filósofos religiosos y se esfuerzan por interpretar teológicamente todos los magnos descubrimientos de la ciencia.

Al ocuparse del aspecto ideológico de las cuestiones filosóficas

de las ciencias naturales, hay que dedicar suma atención a la polémica con el tomismo contemporáneo como una de las tendencias más populares de la ideología burguesa. El tomismo expresa con manifiesta claridad un designio: el de llegar a constituir el fundamento sintético de todo el proceso cognoscitivo. Ahora bien, realiza dicha síntesis basándose en principios místicos, ajenos por su naturaleza intrínseca a la ciencia. Estimando que el conocimiento científico necesita complementos irracionales, el destacado neotomista E. Gilson escribe: "Nosotros no creemos que la ciencia sea idéntica al conocimiento racional"(6).

Toda la experiencia que nos proporciona el avance del conocimiento prueba que lo que sirve de base auténticamente científica capaz de sintetizar los conocimientos de las ciencias naturales y sociales es la filosofía consecuentemente materialista del marxismo-leninismo. Nos convencemos de que es así no sólo cuando contraponemos el materialismo dialéctico al neopositivismo, al tomismo y a otras tendencias del idealismo contemporáneo, sino, además, cuando comparamos el nivel filosófico de la generalización del saber con otras formas y niveles de síntesis de la información científica.

El entendimiento humano ha sentido siempre necesidad de síntesis, lo cual es un reflejo de la propia unidad material objetiva del mundo. Cabe decir, si hablamos de las raíces gnoseológicas, que de esta necesidad nació la filosofía. Sin comparación y generalización no hay ciencia. Toda ley científica constituye una imagen generalizada de fenómenos. Históricamente, las cosas han sucedido de tal modo que cada esfera del saber ha engendrado sus generalizaciones. En una determinada etapa la primacía en tales generalizaciones correspondió a la lógica formal y también a las matemáticas. La primera, elaborando sus conceptos y categorías, facilitaba la generalización de los datos de la ciencia. La matemática, desde tiempos remotos, servía para la descripción formalizada y la generalización de las verdades científicas. Al mismo tiempo siempre se ha experimentado la necesidad de generalizar más ampliamente los fenómenos. Tal es la razón de que junto a la lógica formal y a la matemática se hayan desarrollado también las generalizaciones filosóficas. Y la filosofía, especialmente la filosofía materialista, ha cumplido dicha función sintetizadora. Téngase en cuenta que también el idealismo clásico ha contribuido en no poca medida a elaborar las categorías filosóficas, ayudando con ello a que se generalizaran los resultados científicos.

Ahora vemos que prosigue el vigoroso adelanto de las ciencias que coadyuvan a la generalización de los datos de las ciencias naturales y, en cierta medida, a la de los datos de las ciencias sociales. La matemática, en sus ramificaciones más diversas, desempeña ahora un papel de suma importancia no sólo como procedimiento de expresión y descripción de los fenómenos, sino, además, como método para la búsqueda de nuevas verdades. La lógica ha alcanzado asimismo un gran desarrollo. Ha aparecido un nuevo instrumento de cognición tan

---

(6) *E. Gilson*, "God and Philosophy". New Haven, 1960, p. 113.

poderoso como es la cibernética. La teoría cuántica sirve como importante instrumento de generalización tanto para la física como para la química y también para otras ciencias naturales.

Sería una equivocación no ver la trascendencia enorme del instrumental lógico, de los recursos matemáticos, de la cibernética y de la modelación para el progreso de la ciencia actual. El filósofo que no lo comprenda o incluso que niegue la importancia de estos medios de generalización, será un hombre atrasado que no causará más que perjuicios tanto a la filosofía como a las ciencias naturales.

Al mismo tiempo es indispensable recalcar que, gracias precisamente al enorme desenvolvimiento de los recursos lógicos y matemáticos de la generalización científica, importa mucho aumentar y perfeccionar el instrumental metodológico, es decir, estudiar las cuestiones filosóficas de las ciencias naturales, enriquecer la filosofía marxista. El caso es que dado el nivel y el procedimiento de generalización de la matemática en sus distintas direcciones, la propia cibernética y la misma lógica formal necesitan de recíproca conexión. La matemática se ha dividido en una serie de secciones o ciencias, hablando en propiedad. La lógica cuenta también con una serie de ramificaciones (lógica polivalente, en la cual no se observa la ley del tercero excluido; la lógica modal, la lógica normativa, la lógica de las valoraciones, la teoría de la consecuencia lógica, etc.). Por consiguiente, también se necesitan la generalización y la síntesis entre las propias secciones y disciplinas generalizadoras, y nada puede proporcionar esta generalización aparte el estudio de los problemas filosóficos de las ciencias naturales y sociales, el estudio de la dialéctica de la naturaleza y los procesos sociales, el estudio del materialismo dialéctico.

Y lo más importante es que las generalizaciones matemáticas, lógicas y cibernéticas no pueden dar solución a problemas como el de sujeto y objeto, hombre y naturaleza, naturaleza y sociedad, teoría y práctica, ni a toda una serie de cuestiones metodológicas objeto de estudio, precisamente, de la filosofía, del materialismo dialéctico e histórico. Pues bien, sin resolver estos problemas filosóficos generales, el instrumental lógico y matemático tendría un significado eminentemente técnico.

De ahí que la elaboración de las categorías y leyes filosóficas generales contribuya precisamente a comprender con acierto y a desarrollar todo el instrumental generalizador de las ciencias naturales contemporáneas, incluido el de cada una de las ciencias. Por esto consideramos que la filosofía de ningún modo puede hacerse cargo de resolver los problemas específicos de las ciencias. Pero no puede desarrollarse sin estar ligada a dichas ciencias, como las propias ciencias naturales sufrirían un grave perjuicio si se debilitara su unión con la filosofía del materialismo dialéctico.

La garantía de que el conocimiento científico proseguirá con éxito su avance radica en la circunstancia de que tanto los filósofos como los naturalistas de los países socialistas, así como los científicos de vanguardia de los países burgueses contribuyen activamente a reforzar esa unión creadora que Vladímir Ilich Lenin nos legó.

JOHN D. BERNAL
Profesor de la Universidad de Londres
(Inglaterra)

LENIN Y LA CIENCIA

Quisiera citar algunos fragmentos de un artículo que publiqué en "Pravda" hace dieciséis años con motivo del vigésimonoveno aniversario de la muerte de Lenin: "El análisis económico, las indicaciones políticas y los consejos tácticos contenidos en los trabajos de Lenin son de importancia vital para la lucha que se sostiene en nuestro tiempo. No es menor la importancia que la doctrina de Lenin tiene para el futuro.

Lenin fue, entre los científicos más eminentes de su tiempo, el de mayor enjundia por la fuerza intelectual de su pensamiento y por la amplitud de sus horizontes. Ahí donde otras grandes personalidades veían tan sólo un aspecto de la realidad, Lenin lo veía todo. No captaba la realidad como algo estático, sino en movimiento; se daba cuenta de cuáles eran las fuerzas que determinan dicho movimiento y aprendió a gobernarlas. Se reveló ello con toda nitidez en la manera en que se asimiló, dominó, utilizó e hizo avanzar la herencia marxista.

En el período en que el joven Lenin empezó a conocer los trabajos de Marx y Engels, varios filósofos de aquel entonces intentaban, por una parte, convertir tales obras en una doctrina petrificada, «intangible», aferrándose más a la letra que al espíritu de la misma, y por otra parte pugnaban por someterlas a revisión, castrándolas de su verdadero contenido y utilizándolas para hacer la apología del sistema capitalista contra el cual había luchado Marx en el transcurso de toda su vida"[1]. Combatiendo a la vez ambas tendencias y actuando casi solo, Lenin supo defender el marxismo como filosofía viva y militante, al servicio del progreso de la humanidad.

En esa lucha se puso de manifiesto plenamente el dominio que Lenin poseía del método científico. Ya uno de sus primeros libros

(1) "Pravda", 21 de enero de 1953.

—*¿Quiénes son los "amigos del pueblo" y cómo luchan contra los socialdemócratas?*, escrito en 1894— nos demuestra con qué profundidad dominaba Lenin el método dialéctico forjado por Marx y Engels.

Lenin demostró que el método dialéctico no es un esquema formal impuesto a la naturaleza y a la sociedad desde fuera, sino un método científico en sociología, el cual consiste en ver la sociedad como un organismo vivo, en constante desarrollo.

De este modo, Lenin logró evitar los extremos, tanto el dogmatismo, ciego seguimiento de los textos de Marx, como el revisionismo, manejo de esos textos sin el menor escrúpulo con el fin de aproximar el marxismo a las corrientes burguesas de la ciencia oficial de aquel tiempo.

El siglo XX transcurre bajo el signo de la fortísima influencia del genio de Lenin no sólo en la esfera de la economía, sino, además, en el dominio de las ciencias naturales. Existen, para que así sea, muchas y diversas causas, aunque concatenadas entre sí. En primer lugar, Lenin mismo sentía un vivo interés por los aspectos filosóficos fundamentales de las ciencias, especialmente de las físicas. Participó muy activamente en una gran discusión sostenida entre atomistas y energéticos a comienzos de nuestro siglo, período de vivas y constructivas polémicas que todavía hoy se prosiguen en una u otra forma. En segundo lugar, Lenin abogaba insistentemente en pro de una estrecha interconexión entre la ciencia teórica y los resultados prácticos de la técnica. Y en tercer lugar, esas ideas y teorías de Lenin iban a plasmarse prácticamente en un Estado nuevo, soviético, facilitando la creación de una ciencia de nuevo tipo, en íntimo contacto con el desenvolvimiento de la economía nacional.

Las ideas de Lenin, con su hontanar en la doctrina marxista, influyeron poderosamente sobre el crecimiento y el carácter de la ciencia, ante todo, como es lógico, en el viejo imperio Ruso. En última instancia, sin embargo, su influjo repercutió de manera positiva en la transformación de la ciencia en todo el mundo (incluido el país más rico del campo imperialista: los Estados Unidos de América), determinando en sensible grado el decurso de la propia civilización mundial.

En todo ello resultó decisiva la influencia personal de Vladímir Ilich. En su juventud, Lenin, cuya formación se vio interrumpida tan a menudo por las ingerencias de la policía, no cultivó con especial dedicación las ciencias naturales. Pero también en ellas adquirió vastos conocimientos a través de sus lecturas. En todo caso le facilitó en no poca medida lograrlo, su profunda comprensión del marxismo, ante todo de la idea marxista sobre la unidad de todo el saber humano. Lenin captó la esencia materialista del marxismo. Escribió: "Un hombre dentro de la habitación oscura puede distinguir muy confusamente los objetos, pero si no tropieza con los muebles ni toma un espejo por una puerta, es que ve allí algunas cosas bien. Así que no debemos renunciar a la pretensión de penetrar más allá de la su-

perficie de la naturaleza, ni pretender que ya hemos rasgado todos los velos del misterio del mundo circundante"[2].

"La destructibilidad del átomo, su inagotabilidad, la variabilidad de todas las formas de la materia y de su movimiento, han sido siempre el sostén del materialismo dialéctico. Todos los límites en la naturaleza son convencionales, relativos, movibles, expresan la aproximación de nuestra inteligencia al conocimiento de la materia..."[3]

"...La naturaleza es infinita, como es infinita la más pequeña de sus partículas (comprendido también el electrón), pero la razón transforma de la misma manera infinita las «cosas en sí» en «cosas para nosotros»"[4].

En aquel entonces, la ciencia ejercía como no había ejercido nunca una influencia muy fuerte sobre el desarrollo de la civilización; pero esto no constituía más que uno de los eslabones en la cadena de los rasgos característicos de la civilización que interesaban a Lenin. El otro eslabón era el lazo de la ciencia con el desenvolvimiento económico de la Rusia de aquel período. Donde Lenin examinó de manera más exhaustiva este problema fue en su obra *El desarrollo del capitalismo en Rusia*, y con menor plenitud, si bien con datos más amplios, en *El imperialismo, fase superior del capitalismo.*

Dicho con otras palabras: ya antes de la revolución de 1905, Vladímir Ilich se daba perfecta cuenta del valor de la ciencia como instrumento para influir sobre la economía y los acontecimientos sociales.

Es posible que en la vida de Lenin el momento más importante fuese el de su reacción ante la derrota sufrida por la revolución de 1905. Ante aquel acontecimiento, Lenin no se desesperó, no se sintió empujado hacia la religión ni hacia la búsqueda filosófica de caminos de retirada. Al contrario. Los albores del siglo XX constituyeron un punto crucial en la esfera de las ciencias naturales y de la filosofía. Las viejas discusiones que habían corroído el siglo XIX se reanudaron en nuevas formas. Se reavivó otra vez la lucha entre el materialismo y el idealismo, esta vez en forma de polémica entre atomismo y energetismo, así como entre evolucionismo y vitalismo.

Lenin jamás se ocupó de esas discusiones de paso, como de algo secundario, sino que penetró siempre en el meollo de la cuestión. Aquel era el período en que escribió *Materialismo y empiriocriticismo*, obra en la cual Lenin caracterizó los trabajos de Mach, de Ostwald, de Poincaré y de Bogdánov como trabajos de orientación general antimaterialista, como vivificación de tendencias religiosas superadas hacía ya mucho tiempo, como promoción del fideísmo. Esta circunstancia por sí misma no basta para comprender toda la pasión de la polémica sostenida por Lenin. Se ha de tener en cuenta, además, que las tendencias indicadas presentaban también un aspecto político. Significaban un esfuerzo cada vez más porfiado para velar

---

(2) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 292. ("Materialismo y empiriocriticismo", Ediciones Pueblos Unidos, Montevideo, 1966, pág. 306).

(3) *Ibíd.*, pág. 298. (*Ibíd.*, pág. 312).

(4) *Ibíd.*, pág. 330. (*Ibíd.*, pág. 348).

el carácter clasista de la lucha y formaban parte de la propensión general hacia el compromiso político en el período de la derrota de la revolución.

Mas ya por sí mismas las discusiones eran dignas de atención. Hallaron un brillante reflejo en los *Cuadernos filosóficos* de Vladímir Ilich. En *Materialismo y empiriocriticismo,* Lenin critica con singular dureza la tendencia de los denominados filósofos modernistas a buscar un punto de apoyo en el reconocimiento de que existen medios irracionales para alcanzar la verdad. Esto abría el camino a las supervivencias (para no decir extravíos) de todo género y a los métodos análogos al sentimiento místico y hasta al pragmatismo. Muchos intentaban explicar las nuevas contradicciones surgidas en la filosofía como la bancarrota de la ciencia, y contra ello se alzó Lenin.

Tal fue la razón de que Lenin se declarara contra la negación del atomismo y contra la negación, implícita en la primera, del materialismo, propugnadas por la escuela positivista de Mach y de Ostwald. Los nuevos descubrimientos de la física, cuando nuestro siglo daba sus primeros pasos, y en particular el descubrimiento del electrón, significaban, al parecer, que la materia tiene una naturaleza enteramente electromagnética. Eran muchos, sin embargo, quienes veían este hecho, con desmesurada ingenuidad, como la desaparición absoluta y sin rastro de la materia. Lenin no compartía tal criterio, y estimaba que la termodinámica de Carnot y de Gibbs podía utilizarse sin hacer concesión alguna a la metafísica. Si reflexionamos sobre el hecho de que hasta los sorprendentes resultados de la física relativista y de la física cuántica pudieron armonizarse de manera consecuente y sin especiales dificultades en una imagen general del Universo, resulta evidente que no se necesitaban desmesurados esfuerzos para explicar los descubrimientos, relativamente menos trascendentales, de la física en el siglo XIX.

Las meditaciones de Lenin en torno al futuro de la ciencia pronto se vieron truncadas por el comienzo de la primera guerra mundial, hallándose él en Suiza ocupado aún en cuestiones teóricas, entre ellas los problemas filosóficos de la ciencia y de la filosofía del marxismo. Durante todo aquel tiempo había meditado sobre un problema que se le planteaba: ¿cómo puede utilizarse la ciencia al estructurar una sociedad nueva, socialista? A partir de entonces hasta la victoria de la revolución de Febrero de 1917 y su regreso a Rusia, Lenin se halla en el fuego de los acontecimientos políticos y bélicos. Mas ni por un instante se olvida de esa tarea. Pese a las preocupaciones de la lucha revolucionaria de todos los días y de la guerra contra la intervención, Lenin se dedica a buscar un nuevo tipo de organización de la ciencia.

Cuenta en sus planes con las venerables instituciones de la Academia Imperial de Rusia, en la que permanecieron muchos científicos auténticos, dispuestos a colaborar con el nuevo Estado, socialista.

Difícil era cambiar la vieja Academia como un todo y ello no tanto por mala voluntad de sus miembros como, simplemente, por su inercia. Recuerdo cómo durante uno de mis viajes a Leningrado

un viejo científico comentó: "Solíamos hacer museos para las personas instruidas; ahora los hacemos para los niños".

Las tradiciones científicas se mantenían porfiadamente académicas, aunque muchos científicos rusos preeminentes supieron elevarse por encima de ellas. Y la fuerza que lo hizo posible fue el entusiasmo que Lenin logró despertar en la juventud dedicada a la ciencia. Se proclamó como nuevo objetivo esencial el nexo de la ciencia con la producción. "El comunismo es el poder soviético más la electrificación de todo el país"; tal fue la famosa tesis de Lenin. Paralelamente se proclamaba otro programa: poner la ciencia misma al servicio del pueblo. Y esto llevaba implícita la exigencia de planificarla.

La idea en sí de realizar las investigaciones científicas de manera planificada fue objeto de ofensivos ataques por parte de los representantes del mundo científico capitalista. La consideraban como chocante innovación que privaba a la ciencia de su sacrosanta libertad. Uno de los procedimientos con que se logró hacer aceptable esta idea para los científicos consistió en sustituir la vieja política de cercenar en los fondos asignados a la ciencia por la de financiar con la máxima generosidad posible los centros de investigación. Lenin garantizaba que ante cualquier iniciativa encaminada de verdad a la investigación creadora, el científico recibiría todos los recursos que necesitara para su trabajo. Y si al principio en el extranjero se negaba esta nueva política soviética en lo tocante a la ciencia, pronto empezaron a practicarla otros países, y ella fue, precisamente, la que contribuyó al florecimiento de la "gran ciencia" de la segunda mitad de nuestro siglo.

Las instituciones académicas adquirieron una nueva característica, se convirtieron en organizaciones de nuevo tipo: pasaron a ser en parte laboratorios de investigación, en parte facultades universitarias, y en parte fábricas experimentales. Por ejemplo, el Instituto de Óptica de Leningrado se ocupaba directamente de toda una rama industrial elaborando, a partir de la materia prima, objetivos para gemelos de campaña y telescopios. La misión del Instituto no se limitaba a perfeccionar la óptica de los instrumentos citados, sino que consistía, además, en abastecer de ellos a todo el país. De este modo, semejantes instituciones aseguraban el enlace entre la ciencia y la práctica. Constituían el campo apropiado para la realización y aplicación de los descubrimientos científicos. Gracias a las instituciones de ese tipo, las investigaciones teóricas pudieron cumplir su objetivo fundamental: satisfacer las necesidades prácticas de la gente. El profesor A. Ioffe, por ejemplo, ha afirmado que él mismo contribuyó a fundar veintiocho institutos de investigación científica de la Unión Soviética. De hecho ha sido el padre de la física soviética del cuerpo sólido, que ha servido de fuente para numerosos descubrimientos y aplicaciones, incluidos los transistores, prácticamente universales, y diversos generadores térmicos que han resultado ser absolutamente indispensables en la investigación del espacio cósmico.

Por otra parte, no se relegaron al olvido los aspectos ideológicos

de la ciencia. La nueva ciencia, fiel a su origen marxista, pudo ser utilizada como arma contra la reacción, en particular contra el sentimiento religioso, tan hondamente arraigado en la conciencia de las masas, sentimiento que en aquel tiempo había degenerado en prejuicios religiosos. Los prejuicios han resultado más vivaces que la auténtica religión. Así a pesar del gran número de museos antirreligiosos fundados en la aurora del Estado Soviético con el fin de acabar con las supervivencias religiosas, he tenido ocasión de presenciar en uno de ellos cómo una vieja campesina besaba devotamente uno de los objetos expuestos.

Aunque la ciencia posee sus objetivos propios, internos, su planificación no es más que una parte de la dirección planificada de la industria y de la agricultura. Aquel fue el comienzo de una época de grandes planes de transformación de la naturaleza y creación de una nueva industria, cumplidos sobre todo después de la muerte de Lenin, pero con la impronta de su genio desde el primer momento. Una de las grandes misiones de la ciencia académica consistía en descubrir e inventariar las riquezas naturales de la Unión Soviética, incluidos los yacimientos de fosfatos de Carelia, los de hierro en Kursk, las vastas explotaciones petroleras de Bakú, el rico filón de diamantes yakutos, en la Siberia Oriental. Más tarde se descubrieron otros muchos yacimientos análogos.

A la vez que se descubrían nuevas fuentes de riquezas naturales se ideaban métodos nuevos, más perfeccionados, para explotarlas. El desarrollo de la nueva técnica requería ante todo energía eléctrica, y se construyó el enorme complejo de la central hidroeléctrica del Dniéper. Casi partiendo de la nada N. Zhukovski y S. Iliushin sentaron las bases de la aerodinámica y comenzaron un trabajo ingente en la construcción de aviones. Muy pronto entre los aviadores tanto militares como civiles de todo el mundo empezó a hablarse con respeto de los aparatos soviéticos.

Lenin murió demasiado pronto para ver los grandes descubrimientos de la física a mediados del siglo XX. Mas los preparativos para llegar a ellos se hicieron ya en vida suya y muy pronto se comprendió la trascendencia de la física nuclear. En Cambridge, bajo la dirección de Rutherford, estudió P. Kapitsa, más tarde autor de numerosos métodos para la división de los isótopos. Esos métodos contribuyeron en sensible medida a establecer la base de la fisión nuclear.

Es curioso observar la reacción que provocó el progreso científico del País Soviético más allá de sus fronteras. Muchos científicos de Inglaterra y de América mantenían ante tal progreso una doble actitud. Por una parte, habrían deseado no tomar en consideración ni la Unión Soviética ni sus éxitos; por otra parte, recurrían a esos éxitos para amedrentar a la opinión pública de los países occidentales. Daba risa y pena ver cómo vacilaban al apreciar los avances de la ciencia soviética. Al principio se negaba en redondo todo nuevo éxito; después lo reconocían, pero su origen se atribuía al espionaje; finalmente lo utilizaron, y ello ha ejercido una acción estimulante sobre el desenvolvimiento de la ciencia occidental. El

sputnik nos ofrece un típico ejemplo de este proceso. Muchos afirmaban con inconmovible aplomo que la creación de un sputnik no estaba al alcance de la Unión Soviética; se ponía en duda hasta la posibilidad de que se creara aquí la bomba atómica. Sin embargo, la creciente velocidad del progreso científico en la Unión Soviética indujo al Occidente a considerarlo con mayor respeto, lo cual condujo, por último, a una absurda exageración en cuanto a la diferencia existente entre el poderío de que gozaba la Unión Soviética en cohetes y el de los países occidentales. Esta exageración se utilizó después para acelerar la carrera de armamentos en los Estados Unidos de América.

A pesar de que hemos recorrido ya un largo camino sin Lenin, la fecunda influencia de sus ideas aún continúa, determinando el espíritu general de la ciencia de las nuevas generaciones no sólo en la Unión Soviética, sino, además, en el mundo entero. Gracias a esta influencia ya ni siquiera los enemigos más acérrimos de la Unión Soviética pueden seguir afirmando que el progreso científico y técnico es incompatible con la edificación del socialismo según el plan de Lenin. Al contrario, el progreso de la ciencia constituye el cimiento no sólo de la economía, sino, además, de la ideología del socialismo, lo cual facilita en extremo la ampliación de los límites del mismo.

Únicamente pueden considerarse verdaderos leninistas quienes han logrado en plena medida ser herederos de sus ideas. Y sólo ellos, hasta a despecho de su posible alejamiento en el tiempo y en el espacio de la personalidad del gran pensador, pueden aspirar a llamarse compañeros suyos.

TODOR PÁVLOV
Miembro de la Academia de Ciencias
de Bulgaria

EN TORNO A LA UNIDAD DIALÉCTICA ENTRE LA FILOSOFÍA Y LAS CIENCIAS NATURALES

Todo aquel que haya leído *Materialismo y empiriocriticismo* así como otros trabajos filosóficos de Vladímir Ilich Lenin sabe que Lenin admitía, y desarrolló con espíritu creador, la definición que dio Engels de la filosofía como ciencia de las leyes generales del movimiento y desarrollo de la naturaleza, de la sociedad humana y del pensamiento[1]. Lenin partía del significado de la filosofía marxista como concepción del mundo y de la definición que de dicha filosofía hizo Engels como lógica y dialéctica. Añadiremos, sin embargo, acto seguido que Lenin, al igual que Engels, jamás se atuvo al denominado gnoseologismo. La lógica, para Lenin, como también para Engels, es un resultado, una suma, una conclusión no sólo de toda la historia del *conocimiento humano*, sino, además, de toda la historia del *mundo mismo, de la misma realidad objetiva.*

De este modo, Lenin no rechaza en ningún caso el aspecto ontológico, pero no se debe circunscribir a dicho aspecto la definición de la filosofía científica. Exactamente del mismo modo no rechaza Lenin el aspecto gnoseológico, mas tampoco este aspecto agota la filosofía materialista dialéctica.

En *Materialismo y empiriocriticismo* Lenin, al hablar del concepto filosófico de materia, pone a veces entre comillas la palabra "*gnoseológico*" o emplea sencillamente la expresión "concepto gnoseológico de la materia" teniendo en cuenta que esto no significa puro gnoseologismo; el aspecto ontológico, es decir, la existencia de la materia al margen e independientemente de la conciencia, en la filosofía materialista dialéctica, no se rechaza de ningún modo, antes al contrario, se hace especial hincapié en él. A veces esto se olvida en las actuales publicaciones de filosofía marxista.

---

(1) Ver *C. Marx* y *F. Engels*, "Obras", t. XX, pág. 145.

Con lo que acabamos de decir no se agota, como es obvio, la definición científica de la filosofía. Ya Engels en el libro sobre Feuerbach y Lenin en *Materialismo y empiriocriticismo* subrayaron más de una vez que el problema capital de toda filosofía es el de la relación entre el ser y el pensar. Lenin da una definición clásica de la noción filosófica de materia como realidad objetiva que existe independientemente de la conciencia humana y se refleja en ella. "El materialismo en general reconoce el ser objetivamente real (la materia) independiente de la conciencia, de la sensación, de la experiencia, etc., de la humanidad. El materialismo histórico reconoce el ser social independiente de la conciencia social de la humanidad. La conciencia, tanto allí como aquí, es sólo un reflejo del ser, y en el mejor de los casos su reflejo aproximadamente fiel (adecuado, idealmente preciso)" (2).

De ello se sigue que al definir el objeto de la filosofía marxista-leninista, debemos señalar el *problema fundamental* de la filosofía. Esto no significa, como es natural, que debamos reducir el objeto de la filosofía a su cuestión básica; Lenin dice que la relación de la conciencia con la materia es el problema básico de la filosofía, pero esto no significa que sea su problema único. La cuestión está en que sin el problema básico, no hay ni puede haber filosofía científica, aunque no deba ésta ocuparse tan solo, como ya acabamos de indicar, de su problema fundamental, sino que ha de dedicarse, además, a estudiar las leyes más generales del desarrollo de los fenómenos naturales, sociales y espirituales, las cuestiones relacionadas con la concepción del mundo, la lógica formal y la lógica dialéctica, su correlación, etc.

Hay concepciones del mundo (por ejemplo la religiosa) que no son científicas. Existen asimismo representaciones sintéticas del mundo que constituyen una generalización de las ciencias especiales de la naturaleza, pero no han de poseer forzosamente carácter filosófico. *Las representaciones de este género adquieren significado filosófico únicamente cuando, junto con la investigación de las leyes más generales de la naturaleza, de la sociedad y del pensamiento, dan respuesta al problema cardinal de la filosofía.*

Es, además, de extraordinaria importancia observar que la definición de materia formulada por Lenin no se refiere sólo a la materia como tal, sino que concierne asimismo, de uno u otro modo, al espacio, al tiempo, a la necesidad, a la libertad, a la sociedad, etc. El espacio y el tiempo como formas objetivamente reales del ser pueden y deben ser objeto de la investigación filosófica. A su análisis, así como al análisis de la necesidad y de la libertad y al del ser social, consagró Lenin capítulos especiales de su libro *Materialismo y empiriocriticismo.*

El átomo constituye una partícula pequeñísima en el infinito mundo material. En determinado sentido, el átomo puede ser objeto de investigación filosófica al tratar, y en la medida en que se trate,

---

(2) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 346. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 364).

de que existe independientemente de la conciencia humana y se refleja en ella. *Cuando el átomo se examina* en relación con otros átomos desde el punto de vista *de su estructura específica y de sus leyes estructurales, entonces ya no es objeto de la investigación filosófica, sino de la científico-natural,* de una ciencia particular.

Del mismo modo la sociedad sólo es una parte de la realidad mundial. Puede ser objeto de investigación filosófica (cuando se trata de la relación entre el ser social y la conciencia social) o puede serlo de una investigación especial, de una ciencia particular (cuando se trata, por ejemplo, de la estructura de las formaciones sociales).

Resumiendo lo expuesto más arriba cabe decir que en las tentativas de plantear y resolver problemas filosóficos con un criterio auténticamente científico, los autores no pueden soslayar de ningún modo la necesidad de determinar su posición ante el problema central de la filosofía. No es, por tanto, en absoluto casual la circunstancia de que a lo largo de sesenta años —desde que vio la luz la obra *Materialismo y empiriocriticismo*— los adversarios de la filosofía marxista hayan dirigido los dardos más afilados de su crítica precisamente contra la teoría leninista del reflejo, o sea —dicho de otro modo— hayan negado la línea filosófica que se expresa en la tesis: la materia es una realidad objetiva que se refleja en nuestras sensaciones, en nuestra conciencia.

Examinemos algunas cuestiones relacionadas con el desenvolvimiento que ha experimentado la filosofía del materialismo dialéctico (la teoría leninista del reflejo, la gnoseología marxista-leninista y la dialéctica) durante los últimos años.

Veamos ante todo en los rasgos más generales y muy brevemente el problema de la relación entre la filosofía y la matemática.

Filosofía, ciencias naturales y matemática

Hoy nadie niega que la matemática constituye un medio o un método de trascendencia inmensa para el ulterior avance tanto del propio conocimiento científico como del conocimiento de la naturaleza, para el progreso de la vida colectiva, de la edificación socialista y de la práctica social entera. Quien se ocupa de las cuestiones de la producción y de la economía sabe que sin recurrir a la matemática no existe forma humana de obtener respuesta a las preguntas concernientes a los planes óptimos sobre la marcha de las empresas, de la técnica y de la economía. Tal vez se deba a esta circunstancia que en publicaciones especiales y filosóficas se haya declarado que la matemática es una ciencia todopoderosa a la cual se subordinan todas las demás ciencias con sus problemas, hipótesis, etc.

En esto se encierra, indudablemente, una determinada parte de verdad, mas no cabe afirmar que sea esto toda la verdad. De todos es conocida la tesis de Marx según la cual puede juzgarse del grado de desarrollo de una ciencia por la medida en que aplique los métodos de la matemática. Desde luego, esto es cierto. Cuando elaboramos los datos que nos proporcionan las mediciones al conocer las relacio-

nes cuantitativas de las estructuras de los objetos, aplicamos métodos y procedimientos matemáticos.

Surge sin embargo un problema: ¿con qué medios y métodos matemáticos podemos demostrar que las cosas que se miden y también los patrones de medición que utilizamos son objetivamente reales? ¿Cuál es el contenido real de la noción misma de "exactitud"?

Todo esto a veces se pasa por alto o se subestima. Y por este motivo resulta que algunos matemáticos y especialistas en ciencias naturales exactas (y no sólo ellos) atribuyen un valor absoluto a la matemática y de hecho declaran que *El Capital*, por ejemplo, de Carlos Marx, y *El Estado y la revolución* o *Materialismo y empiriocriticismo* de Lenin no se asientan en absoluto en principios matemáticos, en los métodos y procedimientos de investigación de la matemática.

En su evolución histórica, la matemática ha influido sobre la filosofía y ha experimentado, a su vez, la acción de esta última. Baste recordar que la matemática desempeñó un papel de primerísimo orden en la formación del racionalismo (Descartes), el cual veía en el carácter rigurosamente lógico de dicha ciencia el ideal del conocimiento humano. La propia filosofía no se reduce al racionalismo, y su método, en el amplio sentido de esta palabra, se diferencia de los métodos puramente formales de la matemática (métodos que, respecto al de la filosofía, aparecen como métodos especiales de una disciplina particular).

Lenin, en *Materialismo y empiriocriticismo*, como él mismo escribió, estaba muy lejos de la idea de abordar las teorías especiales de la física.

En los últimos tiempos con bastante frecuencia pueden encontrarse obras cuyos autores, hablando en nombre del marxismo, llenan sus trabajos filosóficos con problemas especiales de física, matemática y biología. Esto se ofrece al lector como modelo del pensamiento filosófico marxista-leninista contemporáneo, *con la particularidad de que a veces en tales obras no hay ni un ápice de filosofía marxista-leninista.*

No pretendemos afirmar de ningún modo —huelga decirlo— que los autores de las investigaciones filosóficas marxistas del presente no deben ocuparse de generalizar los datos de las ciencias naturales, de la matemática o de otras ciencias particulares. Sin las generalizaciones en este plano y sin las conclusiones correspondientes, el materialismo dialéctico no puede dar nuevos pasos, es decir, sin tales generalizaciones éste dejaría de ser una filosofía científica. Ahora bien, las generalizaciones y las conclusiones filosóficas de las tesis y de los descubrimientos científico-naturales no se reducen al análisis (en general, al examen) de los hechos desde el punto de vista de una determinada disciplina científica particular. No hay que tomar las tesis de las ciencias particulares y sustituir con ellas las conclusiones y aseveraciones filosóficas, aunque éstas presuponen el descubrimiento y la aplicación de las primeras. La filosofía se ocupa de las leyes del conocimiento, del pensamiento teórico, reflejo del mundo

material, motivo por el cual no puede reducirse a ninguna disciplina científico-natural, ni matemática, ni técnica, ni social ni de otro carácter análogo.

Desde la antigüedad greco-latina, la matemática tuvo un valor decisivo en el desarrollo de la lógica. Su importancia aún se incrementó a partir de mediados del siglo XIX, cuando se investigaron sus recursos lógicos, los fundamentos de la matemática, y se fundó la lógica matemática. Fue también entonces cuando surgió la lógica dialéctica del marxismo. En la matemática —en este sentido no se diferencia de las otras ciencias— a lo largo de toda su historia lucharon entre sí las corrientes materialistas y las idealistas. Los matemáticos de mayor enjundia —en especial los que no se separaban de las ciencias naturales— solían defender, con frecuencia espontáneamente, la concepción materialista de su ciencia. Con la aparición del materialismo dialéctico se concibieron de nuevo modo las cuestiones relativas a la esencia de la matemática [3]. Las ideas del materialismo dialéctico en su aplicación a las ciencias matemáticas siguieron avanzando ante todo gracias a los trabajos de los matemáticos soviéticos [4]. Para comprender la esencia de la matemática son de especialísima importancia las tesis de Lenin sobre la abstracción en el conocimiento, sobre la unidad y lucha de contrarios como ley del conocimiento, sobre las raíces gnoseológicas del idealismo, sobre la complejidad del camino de la cognición, etc.

Vemos, por tanto, que el desarrollo de la matemática en sus planos histórico y lógico, en su actual complejidad y en su diversidad. no sólo no se realiza al margen de la filosofía, sino que, por el contrario, tan solo la filosofía —aquí nos referimos al materialismo dialéctico como fase superior en el desarrollo del pensamiento filosófico— conduce a la comprensión adecuada de la ciencia matemática.

A nuestro entender, posee un incalculable valor teórico-metodológico para toda la filosofía marxista-leninista y para el conocimiento científico en su conjunto, la siguiente idea de Lenin: "La cuestión verdaderamente importante de la teoría del conocimiento, que divide las direcciones filosóficas, no consiste en saber cuál es el grado de precisión que han alcanzado nuestras descripciones de las conexiones causales, *ni si tales descripciones pueden ser expresadas en una fórmula matemática precisa* (la cursiva es mía. - T. P.), sino saber si el origen de nuestro conocimiento de estas conexiones está en las leyes objetivas de la naturaleza o en las propiedades de nuestra mente, en la capacidad inherente a ella de conocer ciertas verdades apriorísticas, etc. Eso es lo que separa para siempre a los materialistas Feuerbach, Marx y Engels de los agnósticos (humistas) Avenarius y Mach" [5].

---

(3) Ver *F. Engels*, "Anti-Dühring", edic. cit.

(4) Ver *A. N. Kolmogorov*, "Matemática". Gran Enciclopedia Soviética, t. XXVI, Moscú, 1954. El artículo contiene abundante bibliografía.

(5) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 164. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic., cit., pág. 169).

Estas declaraciones de Lenin ponen de manifiesto con palmaria evidencia que la cuestión concerniente a la realidad objetiva y a su reflejo en la conciencia humana no es una cuestión propia de las ciencias naturales o de la matemática, sino que es un problema filosófico (gnoseológico), y su resolución, como tal, no puede conferirse a teorías ni métodos formales o formalizados de ningún género.

Todo esto, evidentemente, no mengua para nada la trascendencia de la matemática como ciencia especial, pero obliga a establecer una diferencia entre matemática y filosofía, entre forma y formalismo, entre símbolo y simbolismo, etc. El hecho de que la lógica matemática haya resultado ser una ciencia extraordinariamente fecunda, con vastas aplicaciones en toda la ciencia contemporánea y en la técnica, sobre todo en la cibernética y en la teoría de la información, es un hecho que todo el mundo reconoce. Ahora bien, ello no nos da ninguna razón lógica ni práctica para atribuir un valor absoluto a los métodos formales y formalizados en el campo de la matemática y de la lógica, canalizando de este modo, en una u otra forma, las aguas hacia el molino de la actual filosofía reaccionaria.

El símbolo, el signo y la señal conservan un determinado valor cognoscitivo tan solo mientras que, primero: al utilizarlos, se parte de determinadas ideas tomadas en calidad de imagen subjetiva de fenómenos objetivos, y segundo: como quiera que sea, en una u otra forma y grado, el entendimiento humano, al utilizar los símbolos, los signos y las señales, vuelve otra vez a las ideas-imágenes, y de ahí a su comprobación mediante la práctica. En otro caso, cualquier simbolismo y cualquier semiótica no pasan de ser meras variantes de una sola y misma tradición: la de rechazar, "superar" o subestimar la posición gnoseológica materialista dialéctica fundamental, la metodología materialista dialéctica, el problema básico de la filosofía.

Tales son las conclusiones generales que se desprenden del desarrollo de la teoría marxista-leninista del conocimiento, en particular de la teoría del reflejo y de su vínculo con la matemática. No cabe la menor duda de que el ulterior avance de la ciencia, incluido el de la dialéctica materialista, confirmará de manera cada vez más completa estas conclusiones.

Lenin formuló el principio de la coincidencia, o identidad, de la dialéctica, de la lógica y de la teoría del conocimiento [6]. Esto no significa que no estableciera entre ellas ninguna diferencia. Lenin veía la dialéctica, la lógica y la teoría del conocimiento como distintos aspectos de una sola filosofía materialista dialéctica. La dialéctica, la lógica y la teoría del conocimiento, a diferencia de las ciencias particulares, naturales, sociales y técnicas, plantean y resuelven en un plano general, al mismo tiempo que de manera concreta, el problema cardinal de la filosofía, puntualizando, además, la noción filosófica de materia. Lenin no negaba la unidad dialéctica de la filosofía y de las ciencias particulares, mas no por ello, sin embargo, afirmaba su identidad.

---

(6) Ver *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, págs. 156, 301.

Al definir, por ejemplo, la lógica como ciencia de la verdad tomada en su conjunto, Lenin jamás examinaba ni la lógica formal, ni la lógica dialéctica, ni la gnoseología con su fundamento —la teoría del reflejo— como ciencias particulares, no filosóficas. Entre la filosofía y las ciencias particulares existe precisamente unidad, no identidad. Esta idea se halla presente en todos los trabajos de Lenin. Por otra parte, en sus obras (especialmente en *Materialismo y empiriocriticismo* y *Cuadernos filosóficos*) queda siempre bien claro que el problema capital de la filosofía no agota todo el contenido de esta última, ya que la filosofía investiga las leyes universales del desarrollo de la naturaleza, de la sociedad y del pensamiento, las múltiples formas de la actividad social, así como también el significado de la praxis no sólo como base, fin y criterio del saber humano, sino, además, de la realidad inmediata.

Las distintas ciencias especiales ven sus objetos, ante todo, en sus estructuras y leyes específicas, y esto es lo que les da el significado de ciencias especiales (particulares); la filosofía científica, en cambio, partiendo de las estructuras y leyes que las ciencias particulares descubren, desentraña las conexiones y relaciones universales, las leyes generales de la realidad objetiva y del conocimiento, investiga las relaciones de las diversas formas de la conciencia con las distintas formas del ser social y natural (de la materia).

No cabe circunscribir el problema capital de la filosofía ni al de las leyes estructurales del ser y de la conciencia ni al de las leyes estructurales más generales del mundo. Si las leyes generales de la teoría estructural del mundo se entienden según el espíritu del estructuralismo y se oponen al problema básico de la filosofía, cae uno indefectiblemente en las viejas tentativas de negar y "superar" las diferencias entre materialismo e idealismo, es decir, vuelve a repetir las equivocaciones de Mach y sus discípulos, negando a rajatabla el valor de la filosofía científica como tal.

Lenin siguió el camino opuesto, es decir, el de afirmar el problema básico de la filosofía, la noción filosófica de materia precisamente como noción filosófica, y no científico-natural; siguió el camino que consistía en elaborar la teoría del reflejo precisamente como base teórica de la gnoseología materialista dialéctica. La viva atención con que seguía Lenin la marcha de las ciencias naturales, técnicas y sociales le permitía generalizar los resultados que tales disciplinas obtenían y realizar fecundas previsiones científicas (por ejemplo, sobre la inagotabilidad del electrón, y otras). El avance de las ciencias concretas ha confirmado el acierto total y el valor metodológico de las investigaciones y de las conclusiones contenidas en los trabajos filosóficos de Lenin. Las generalizaciones de Lenin en el campo de las ciencias naturales influyeron poderosamente sobre el desarrollo de la física, de la matemática y de otras ciencias particulares (especiales). En cuanto a sus generalizaciones en la esfera de las ciencias sociales y de la práctica revolucionaria de la humanidad, han sido decisivas para el rumbo ulterior de la sociedad, para los destinos de los pueblos del mundo.

¿Cómo pudo Lenin, que no se consideraba especialista en ciencias naturales, llegar a conclusiones que poseen un valor de principio para el progreso de la ciencia en su conjunto? ¿En qué consiste esa insólita fuerza de la filosofía marxista, cuyo progreso ha impulsado Lenin? La respuesta a estas preguntas la encontramos formulada por el propio Lenin: "De suyo se comprende que, al examinar la cuestión de las relaciones de una escuela de los novísimos físicos con el renacimiento del idealismo filosófico, estamos lejos de la idea de tocar las doctrinas especiales de la física. Nos interesan exclusivamente las conclusiones gnoseológicas sacadas de ciertas tesis determinadas y de descubrimientos generalmente conocidos. Esas conclusiones gnoseológicas saltan a la vista de tal modo que numerosos físicos tratan ya de ellas. Es más, entre los físicos hay ya direcciones diversas, se constituyen determinadas escuelas sobre esta base. Nuestra tarea se limita, pues, a poner de relieve la naturaleza de las divergencias de esas direcciones y sus relaciones con las líneas fundamentales de la filosofía" (7).

La cita de Lenin que acabamos de aducir nos permite ver que durante mucho tiempo tanto algunos científicos como algunos filósofos han interpretado de manera muy simplista las ideas de Vladímir Ilich acerca de las relaciones entre la filosofía y las ciencias particulares. Los especialistas han exigido de los filósofos que fueran enciclopedistas o, por lo menos, conocieran a fondo una o varias ciencias y técnicas particulares. Los filósofos, por su parte, exigían de los científicos, representantes de las ciencias concretas, que todos ellos fueran poco menos que filósofos profesionales. Pero Lenin dice sin ambages que al plantear el problema del idealismo filosófico de algunos físicos, está muy lejos de pensar en referirse a la física como ciencia especial, sin que ello signifique de ningún modo que las investigaciones científicas especiales en el terreno de la física y de la filosofía puedan desarrollarse con absoluta independencia unas de otras.

Últimamente, como hemos ya indicado más arriba, entre algunos filósofos de distintos países, se difunde un estilo "filosófico" especial cuando se habla y se escribe de cuestiones filosóficas sin examinarlas ni resolverlas en su esencia, sino exponiendo problemas puramente especiales, que corresponden a una determinada ciencia natural, social o técnica. "Filosofando" de tal manera no es posible ni siquiera hablar del planteamiento gnoseológico y de la resolución de los problemas, pese a que el curso natural de los acontecimientos lleva de la mano hacia ellos no sólo a los filósofos, sino, además, a quienes cultivan las ciencias naturales.

Las condiciones gnoseológicas de que habla Lenin se hallan relacionadas con varias generalizaciones, así como con la investigación y la formulación de las leyes más generales del desarrollo del ser y de la conciencia. Esto, en primer lugar, asesta un golpe demoledor a la afirmación neopositivista de que toda filosofía es innecesaria, a la afir-

---

(7) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 266. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic., cit., pág. 278).

mación de que las ciencias especiales ya son por sí mismas filosofía. En segundo lugar, pone de manifiesto que las conclusiones más generales de las ciencias concretas en última instancia no pueden dejar de estar relacionadas con la definición filosófica de la materia ni con el problema básico de la filosofía.

Por tanto, las ciencias particulares de hecho no pueden existir ni desarrollarse aisladas de la filosofía científica, del mismo modo que, por el contrario, la filosofía científica presupone a las ciencias particulares, que, diferenciándose cada vez más y al mismo tiempo integrándose, llegan a tesis y descubrimientos que exigen conclusiones gnoseológicas.

Los físicos, los químicos, los cibernéticos, los astrofísicos, los bioquímicos, los biólogos y los científicos que trabajan en otros dominios de la ciencia, con sus recursos y métodos, pueden resolver, por ejemplo, —si se trata de físicos—, cuestiones, digamos, sobre la teoría de las partículas elementales, de los quarks, etc., concernientes a la estructura y a las leyes especiales del desarrollo de la materia. Precisamente los científicos especialistas son los que investigan y deben investigar las cuestiones concretas de la física y de las otras ciencias particulares. Pero en estas investigaciones, los científicos, quiéranlo o no, se apoyan en determinados principios filosóficos, gnoseológicos y lógicos. Asimismo los filósofos, al investigar determinadas formas universales del ser, las leyes de la interconexión de la materia con la conciencia, y los problemas gnoseológicos y lógicos, estudian los resultados de las ciencias particulares e infieren de ellos las conclusiones necesarias. Si los filósofos se contentaran planteando e investigando problemas puramente formales o puramente lógicos y gnoseológicos se quedarían aislados de las ciencias particulares y acabarían en un abstraccionismo estéril, en el escolasticismo y, en final de cuentas, en el misticismo.

La filosofía no constituye sólo la generalización de los resultados de las ciencias particulares y de la práctica del hombre, sino que además los une en un todo único y forma la base metodológica o la premisa del ulterior desarrollo de los conocimientos científicos.

La filosofía, la teoría de la información y otras orientaciones de la ciencia contemporánea

En la cuarta década de nuestro siglo surgieron y adquirieron rápidamente suma pujanza la *cibernética* y otras disciplinas científicas relacionadas con ella, entre las que figura la *teoría de la información.*

El término de "información" se utilizaba mucho antes de que se crearan la cibernética y la teoría de la información como ciencias especiales. En su significado tradicional, "precibernético", el concepto de "información" es casi sinónimo del concepto de "reflejo" y para los gnoseólogos no representa ningún problema nuevo.

El problema de la relación entre la información y el reflejo surge únicamente cuando el concepto de información adquiere el contenido que le asignan la matemática, la cibernética, etc. En este caso pasa

al primer plano, ante todo, el tema del *carácter objetivo o subjetivo de la información*.

Ya hemos hecho alusión a que no sólo William R. Ashby, F. George y Norbert Wiener, sino, además, otra serie de científicos notables en cibernética y en teoría de la información, estiman innecesario ocuparse de la "conciencia" y de los "elementos subjetivos relacionados con ella". Quien expresó este criterio de manera más inequívoca fue Ashby cuando dijo que ni una sola vez había sentido la necesidad de introducir las palabras "conciencia" y "elemento subjetivo" en su análisis (cibernético e informático. — T.P.).

Ahora bien, como quiera que los especialistas en cibernética interpreten semejantes declaraciones, es perfectamente legítimo estimar que la información es un proceso objetivo. Los científicos soviéticos son quienes han formulado esta idea con mayor precisión. "En el concepto de realidad objetiva —han escrito—, que existe independientemente de la conciencia del hombre, junto a los procsos de transformación de la substancia y de la energía, se incluyen también los procesos de información"(8). Más de una vez el propio desarrollo de la cibernética ha confirmado esta idea, de suerte que no vamos a detenernos ahora a examinarla con especial detención. En el presente caso resulta más importante para nosotros otra idea de los científicos que están de acuerdo en que "en los procesos de información investigados por la cibernética encuentra una realización multilateral la admirable hipótesis de Lenin según la cual a toda la materia le es inherente la propiedad del reflejo, propiedad afín, pero no idéntica, a la facultad sensitiva"(9).

Esta idea arroja un haz de luz sobre la esencia del reflejo como propiedad de toda la materia, y esta propiedad, como resultado de una larga evolución, se convierte en la forma superior del reflejo: la conciencia humana. El proceso del tránsito dialéctico de la citada propiedad de toda la materia al pensamiento humano, social, lógico por su propia esencia, se investiga en los trabajos de los científicos. Mas no todos los autores han inferido las conclusiones necesarias de la indicada evolución del reflejo en general. Algunos han negado la existencia del reflejo en toda la materia; otros lo han convertido en una propiedad hilozoísta y panpsíquica.

Puede ocurrir, afirmaba el célebre físico soviético S. Vavílov, que la física del mañana incluya en la esfera de sus investigaciones "como fenómeno primario más simple «una capacidad análoga a la sensación», y explique con ella muchas otras cosas"(10).

Indicaremos asimismo que no sólo la cibernética y la información correspondiente confirman la conjetura *lógica* de Lenin, sino que la confirma, además, la información en el terreno de los procesos micro-

---

(8) *A. Berg, I. Novik*, "El desarrollo del conocimiento y la cibernética". "Kommunist", 1965, Nº 2, pág. 20.

(9) *Ibíd.*, pág. 21.

(10) *S. I. Vavílov*, "Obras", t. III, Moscú, 1956, pág. 150.

genéticos. Estos procesos informativos demuestran la corrección de la tesis de Lenin sobre la capacidad que posee cualquier forma de la materia de *reflejar*, pero no de *sentir* o *pensar*. Esta última propiedad es tan solo inherente a la forma altamente desarrollada y organizada de la materia. Dicho con otras palabras, en el desarrollo de la cibernética y de la teoría de la información se confirma de nuevo la teoría leninista del reflejo como pivote de la gnoseología materialista dialéctica.

A nuestro entender, el profesor Ashby y otros especialistas en cibernética están en lo cierto cuando afirman que la información posee un carácter *objetivo*, pero se equivocan en otra cosa: confunden a veces la *subjetividad* con el *subjetivismo*. Porque la parte subjetiva de la conciencia no es tan solo su conocida debilidad o su insuficiencia; a la vez significa una fuerza y una superioridad ante la información automática, puramente objetiva, pero insensible. Sin el carácter subjetivo, psíquico, interno de la conciencia humana sería imposible la creación científica y artística, aunque, huelga decirlo, el aspecto subjetivo ha de basarse siempre en el contenido objetivo de la conciencia y del pensamiento. *Los dispositivos y métodos cibernéticos se utilizan para establecer las variantes óptimas en la organización y el gobierno de la actividad administrativa, de producción, comercio, transporte y de otro tipo.* Por lo que atañe a la base científica de la dirección del desenvolvimiento de la sociedad, actúan en calidad de tal base las ciencias sociales, entre ellas la filosofía marxista-leninista, dado que ésta constituye la generalización y, al mismo tiempo, la premisa teórico-metodológica del buen desarrollo tanto de las ciencias naturales y técnicas como de las ciencias sociales de tipo especial.

Desde luego, no es posible limitar las posibilidades de la cibernética ni de otras ciencias, cualesquiera que sean. Cada una de ellas tiene su campo de acción, sus problemas, sus métodos específicos, su organización, etc. Ante la cibernética se abren perspectivas ilimitadas para alcanzar nuevos éxitos, cada vez más brillantes. Mas, por grandiosos que éstos sean, la cibernética no puede sustituir el cerebro humano ni la conciencia, los cuales, en su cimiento más profundo no son únicamente un producto biológico, sino, además, histórico-social, un órgano, una función. *Los aparatos cibernéticos, los computadores y métodos electrónicos matemáticos sirven, en manos del hombre, de medio poderoso para plantear y resolver óptimamente numerosas cuestiones de capitalísima importancia. Ello no obstante, lo que sirve de base científica para el desarrollo de la sociedad socialista son las ciencias sociales y la filosofía, tomada ésta como concepción científica del mundo y como método para el conocimiento y la transformación de la realidad.*

La tecnología del "pensamiento lógico", efectuado con máquinas cibernéticas y que es considerado por algunos teóricos como idéntico al pensamiento lógico, no puede sustituir por completo al pensamiento creador del hombre, a la lógica dialéctica, aunque da pie para establecer una diferencia entre la lógica y la tecnología lógica, entre el pensamiento creador y la modelación automática de algunas formas

y procesos del pensamiento humano (de ese tipo es el "pensamiento cibernético").

Refiriéndose al saber humano en toda su extensión y en todo su desarrollo, Lenin define la lógica (dejando aparte en el presente caso la diferencia entre la lógica formal y la lógica dialéctica, consideradas por él en un mismo plano de disciplinas filosóficas y no en calidad de ciencias particulares) como "doctrina que trata no de las formas externas del pensamiento, sino de las leyes del desarrollo de «todas las cosas materiales, naturales y espirituales», es decir, del desarrollo de todo el contenido concreto del mundo y de su conocimiento, es decir, como resultado, como suma, como conclusión de la *historia* del conocimiento del mundo"(11).

Han resultado vanas cuantas tentativas se han hecho para refutar o por lo menos para socavar esta clásica definición leninista de la lógica. Sin embargo, en el presente caso, para nosotros es más importante el hecho de que tal definición de la lógica concuerde, desde el punto de vista de principio, con la idea que Marx y Engels tenían de la lógica, el hecho de que realmente se sustente por completo sobre la base teórica de la gnoseología materialista dialéctica, es decir, sobre la teoría leninista del reflejo.

Muy recientemente ha empezado a constituirse una nueva rama del saber, una "ciencia de la ciencia" o "teoría de la ciencia". Ha surgido como una especie de reacción positiva ante las necesidades a que han dado origen el enorme auge de la ciencia, el aumento de su influencia en la vida de la sociedad, la insólita complicación de su estructura, la incorporación de un número cada vez mayor de personas a la actividad científica, etc. Mediante complejas investigaciones de problemas concernientes al desarrollo de la ciencia y de la técnica como un todo, la teoría de la ciencia se ocupa de elaborar los fundamentos científicos de la planificación, de la organización y de la dirección de la ciencia.

Como resulta patente de todo lo expuesto, en la teoría de la ciencia no hay nada, valga la expresión, "contrafilosófico"; no desempeña un papel de ciencia filosófica ni sustituye, por ejemplo, al materialismo dialéctico. Pero en las publicaciones pueden encontrarse puntos de vista precisamente de ese tipo, que de hecho se utilizan con fines anticientíficos.

Hemos examinado tan solo algunos de los aspectos fundamentales de la teoría leninista del reflejo, pero ya constituyen una prueba de la vitalidad de esta teoría, de su enorme significación para resolver los problemas más complicados, de carácter práctico-revolucionario y teóricos, que actualmente tiene planteados la humanidad. El progreso de las ciencias naturales contemporáneas y de la ciencia en su conjunto, constituye un auténtico triunfo del pensamiento filosófico marxista-leninista.

---

(11) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 84.

P. V. KOPNIN
Miembro de la Academia de Ciencias de la
República Federativa de Ucrania

P. S. DISHLEVI
Doctor en ciencias filosóficas

LAS IDEAS DE VLADÍMIR ILICH LENIN SOBRE LA FLEXIBILIDAD MULTILATERAL DE LOS CONCEPTOS Y LOS CONOCIMIENTOS DE LA FÍSICA CONTEMPORÁNEA

> La flexibilidad polifacética, universal, de los conceptos, una flexibilidad que llega hasta la identidad de contrarios, en eso está la cuestión. Esta flexibilidad, aplicada subjetivamente, = al eclecticismo y a la sofística. La flexibilidad aplicada *objetivamente*, es decir, reflejando la omnilateralidad del proceso material y su unidad es la dialéctica, es el reflejo acertado del desarrollo eterno del mundo.
>
> V. I. LENIN.

¿Por qué senda filosófica avanza la física contemporánea?

Desde el momento mismo de su nacimiento, la física ha atraído poderosamente la atención de los filósofos. En un principio constituía en general una parte de la filosofía, y en Inglaterra hasta nuestros días se ha venido llamando, por la fuerza de la tradición, filosofía natural. Pero incluso cuando se hizo del todo independiente y, en principio, contraria a la filosofía natural, su nexo con la filosofía, aunque se transformó de modo esencial, no sólo no desapareció, sino que aun adquirió más coherencia interior.

La física estudia fenómenos, propiedades y leyes que poseen un carácter bastante general, y para la naturaleza, universal; ello explica que la filosofía trate de resolver los problemas de la materia, del movimiento, del espacio, del tiempo y de la causalidad apoyándose en sensible medida en la experiencia de los conocimientos físicos

actuales. Cierto, a veces algunos filósofos traban tan rígidamente la filosofía con las teorías de la física contemporánea que, en ellos, los conceptos y leyes de la física se convierten en categorías de la filosofía. Por ejemplo, H. Reichenbach declara que la teoría de la relatividad de Einstein es la filosofía contemporánea, con lo cual, sin duda alguna, se llega a poner fin a la filosofía en tanto que esfera independiente del saber. Como es obvio, los cambios radicales de la física, por ejemplo su revolución en la linde de los siglos XIX y XX, ejercen sobre la filosofía una influencia esencial, mas no por ello ni la filosofía ni la física pierden su objeto propio, su instrumental conceptual.

La física no sólo ejerce su influjo sobre el desarrollo de la filosofía porque alcanza serios éxitos en el estudio de la naturaleza, de la estructura y de las especies de la materia, de las leyes del movimiento en distintos niveles, en el micromundo, en el macromundo y en el megamundo. No es menor la significación que adquiere el estudio del proceso mismo del conocimiento físico, de la estructura de sus teorías, de sus cambios, etc. En este terreno, lo que atrae a los filósofos no es tan solo la circunstancia de que la física, actualmente, gracias a sus descubrimientos fundamentales se ha convertido en líder de las ciencias naturales. Estudiando la evolución de los conocimientos físicos, cabe seguir los rasgos más típicos del conocimiento científico contemporáneo. La matemática expresa palmariamente una de las facetas de este conocimiento: la tendencia a la formación de teorías deductivas rigurosamente demostradas; pero no cabe nunca construir según este modelo todo el saber, ni siquiera en las ciencias naturales. La ciencia jamás se verá libre de la necesidad de elaborar teorías que impliquen una generalización del conocimiento empírico. Por otra parte, siguen existiendo disciplinas científico-naturales cuyo método es, como hasta ahora, la descripción y explicación, sin que se rebase, en esencia, los límites de lo que proporcionan la observación y el experimento. En tales ciencias, el instrumental matemático o falta por completo o se aplica al nivel de la expresión puramente cuantitativa de los resultados obtenidos ya por vía empírica.

En la física actual se combina la teoría profunda que aplica el instrumental matemático para alcanzar nuevos resultados, con el experimento de mayor perfección. Las peculiaridades del conocimiento físico quedan nítidamente expresadas en el método constituido por la hipótesis matemática, que encuentra mayor aplicación cada día. A este método, precisamente, se hallan vinculadas teorías como la mecánica cuántica y la teoría general de la relatividad, determinantes en la física actual. Aquí la matemática no representa sólo un instrumental técnico adecuado para la expresión cuantitativa de las relaciones establecidas por vía experimental, sino que proporciona, además, un instrumento para alcanzar resultados nuevos por principio, que luego se comprueban en la experiencia. La extrapolación matemática y el experimento, en su interconexión, hacen posible construir teorías que sean a la vez fácticas y suficientemente rigurosas en el aspecto lógico. La física jamás se satisfará con una teoría que sea un instrumento puramente formal; siempre busca, tras el instrumento, el significado físico

y un sentido, siempre procura interpretar las fórmulas y ecuaciones obtenidas, entre ellas las de carácter empírico.

Otra de las particularidades del conocimiento físico actual consiste en el incremento del factor subjetivo, del papel del observador con sus aparatos e instalaciones. El objeto que se estudia entra en interacción con el sujeto, hecho que por una parte resulta esencial y por otra inevitable. Esta vertiente típica del saber científico-natural en la presente fase de su desenvolvimiento plantea varios problemas gnoseológicos.

Cuando se analizan las peculiaridades del conocimiento en física, a menudo se pregunta: ¿por qué senda avanza este conocimiento, qué filosofía, en sus categorías, lo ha previsto y expresado? H. Reichenbach supone que la física contemporánea ha causado una herida incurable a Kant y al kantismo, por haber refutado las representaciones sobre el apriorismo de los conceptos de espacio, tiempo, causalidad, etc. En efecto, la ciencia de nuestra época ha mostrado la variabilidad de estos conceptos, su nexo con el conocimiento en general y con el conocimiento físico en particular. Todo esto es cierto. Pero también es cierta otra circunstancia: en la ciencia contemporánea tiene una gran importancia el estudio del saber en su aspecto formal, y esto es precisamente lo que se recalca en la teoría del conocimiento de Kant. También hay que reconocerle el debido mérito por su idea de la síntesis de la experiencia y del pensamiento en el conocer.

Hoy los pensadores también hablan de que los físicos y los especialistas en otras ciencias de la naturaleza no se dan cuenta todavía del acierto y alcance con que determinó las vías en que iba a avanzar su conocimiento, la filosofía hegeliana; estiman que es una cuestión venidera, por ejemplo, la del encuentro entre Hegel y Einstein. El carácter paradójico que caracteriza a las teorías y a los conceptos de la física contemporánea se expresó, en el plano filosófico general, en la lógica de Hegel. Los físicos han aceptado con dificultad la dependencia de las características espacio-temporales respecto al estado del movimiento de los sistemas físicos, la hipótesis de los cuantos, han comprendido erróneamente la función del sujeto en el conocer, etc. La causa de que así haya ocurrido está en que ellos mismos se educaron en una tradición distinta, metafísica, y no asimilaron debidamente las lecciones de la filosofía hegeliana. Esta observación tiene su fundamento, a pesar de que tampoco Hegel avizoró muchas de las tendencias de las ciencias naturales de nuestra época.

Finalmente, hay filósofos, fuera de la Unión Soviética, que se azacanan por fundamentar la tesis de que la física contemporánea avanza literalmente según las recetas de la línea empírica en filosofía. I. F. Frank y H. Reichenbach repiten infatigablemente que el método de la física actual es una copia de la filosofía empírica asentada en la percepción sensorial y en los principios analíticos de la lógica como fuente del conocer. Desde luego, sólo tergiversando en suficiente medida la esencia lógico-gnoseológica de las teorías relativistas o de la mecánica cuántica cabe reducir su método al empirismo radical o al positivismo lógico. Pero tampoco cabe negar que la filosofía empirista influyó

en cierto modo sobre la física y la ayudó a terminar con el mecanicismo y a tomar la imagen que la nueva física ha elaborado.

Tenemos, pues, que la física ha avanzado por el camino de Kant, y de Hegel, y de la filosofía empírica, pero al mismo tiempo no los ha seguido. ¿Será, tal vez, que el desarrollo del conocimiento en las esferas particulares de las ciencias naturales, y concretamente en la física, avanza independientemente de toda filosofía, se subordina a sus propias leyes y no necesita ninguna teoría filosófica del conocimiento? La experiencia demuestra que la física, al igual que las demás ramas del saber, siempre ha recurrido a las concepciones teoréticocognoscitivas y, en esencia, sin ellas no puede funcionar, aunque sólo sea porque para interpretar las teorías científicas son indispensables tres especies de lenguaje: 1) el de los propios conceptos; 2) el de la lógica formal contemporánea; 3) el de las categorías filosóficas gracias a las cuales los resultados del conocimiento científico se insertan en el cauce general del conocer y en la historia de la civilización mundial.

La filosofía neopositivista proclamó, en su tiempo, la tesis de que era posible y necesario reducir el lenguaje de la filosofía y de su instrumental conceptual a los términos de la lógica formal y a los conceptos de las ciencias especiales. De esta suerte quería conferir a la filosofía rigor científico. Mas la experiencia ha demostrado que esto, en primer lugar, es prácticamente irrealizable, y en segundo lugar nos priva de uno de los recursos intelectuales de mayor peso para comprender tanto la realidad misma como los resultados de la cognición científica. Suprimir la filosofía, cualquiera que sea la forma en que se haga, lleva al empobrecimiento espiritual de la humanidad. El problema no radica en si la filosofía es necesaria, sino en cómo debe ser para que sus medios conceptuales faciliten el entendimiento tanto de la realidad misma como del conocimiento científico que de ella se posea. Los conceptos que la filosofía contemporánea crea han de contribuir a penetrar en el conocimiento de la realidad objetiva. Ahora bien, han de captar y reflejar esta realidad, primero, desde el punto de vista de las propiedades y leyes generales de dicha realidad, y segundo, partiendo de las necesidades de transformar el mundo en consonancia con la esencialidad humana. Son estos conceptos los que constituyen el instrumental de categorías de la filosofía que ayuda al científico a incluir los resultados de un sistema teórico en la corriente general en que avanzan el conocimiento y la praxis. Las categorías filosóficas y el lenguaje que las expresa constituyen el fondo intelectual de la época sin el cual toda actividad productiva resulta imposible y no cabe la interpretación de una teoría científica en particular. Dichas categorías son las que confieren al sistema lingüístico el carácter de conocimiento socialmente significativo. Su papel en la interpretación de los sistemas teóricos es en alto grado diverso. En particular ellas son las que aseguran, por una parte, la libertad del pensamiento teórico, mientras que por otra lo determinan, encaminan hacia la comprensión de la realidad objetiva en las formas necesarias para la actividad práctica del hombre.

La función teórica de las categorías de la filosofía se explica por el hecho de que se crean sobre un fundamento más amplio que los conceptos de cualquier esfera concreta del saber; en ellas se generaliza la experiencia de todo el conocimiento, y no de un determinado objeto cualquiera. El papel regulador de las categorías en el proceso del pensamiento creador estriba en proporcionar una mayor libertad a la imaginación dejándola en los límites de la especulación científico-teórica. Ahora bien, esto no significa que una esfera cualquiera del saber, incluida la física, siga ciegamente a la teoría filosófica. Como toda práctica (y respecto a la teoría filosófica, el conocimiento en cualquier esfera actúa como una práctica sui generis) con que se comprueba dicha teoría y se corrige, el conocimiento físico introduce algo nuevo, no previsto por la gnoseología anterior.

La interconexión de la filosofía con el proceso del conocimiento en los dominios concretos de la ciencia se realiza como sigue: la filosofía, siguiendo la lógica de su desarrollo, generalizando la experiencia del conocimiento del mundo, crea categorías que no se limitan a fijar a posteriori los resultados obtenidos por las ciencias naturales y por las ciencias humanas, sino que, además, expresan la necesidad, las presiones y las tendencias de su desenvolvimiento ulterior. Ésta es la razón de que la ciencia llegue a lo que, en una u otra forma, ha sido ya previsto por las concepciones teórico-cognoscitivas. Por otra parte, el análisis de los resultados del conocer en los dominios individuales pone siempre al descubierto cierta insuficiencia en lo que se sabe y plantea nuevos problemas teórico-cognoscitivos.

Análogas son la relación —y su complejidad— entre la filosofía marxista-leninista y la física contemporánea. La teoría del conocimiento y la lógica elaboradas por Marx y Engels, y desarrolladas luego por Lenin, han resultado ser las más idóneas para prever los caminos por los que iba a desarrollarse el conocimiento en la ciencia, en particular en la física. Pueden aducirse numerosísimos ejemplos que demuestran cómo la filosofía marxista-leninista había resuelto ya en el plano teórico-cognoscitivo las dificultades con que chocó la física en el siglo XX a raíz de la quiebra del materialismo mecanicista y contemplativo. En el siglo XX los físicos comprendieron que no existen el espacio absoluto y el tiempo de que habló Newton. La filosofía marxista ya lo había formulado en el siglo XIX, pero a la vez que se asimilaba los nuevos resultados de la investigación física, perfeccionaba su sistema categorial.

La filosofía marxista-leninista fue capaz de hacerlo porque incorporaba a su acervo toda la experiencia positiva del desarrollo filosófico, desentrañaba lo que había de firme en la teoría del conocimiento de Kant, de Hegel y de la orientación empírica, lo sintetizaba intentando superar la limitación de cada teoría, enriquecía sin cesar las categorías del pensamiento teórico teniendo en cuenta los novísimos resultados obtenidos en las diversas ciencias, incluida la física. Lenin en sus trabajos, especialmente en *Materialismo y empiriocriticismo* y en *Cuadernos filosóficos*, dio expresión a este rasgo del marxismo demostrando que éste, por una parte, sigue las mejores tradi-

ciones en filosofía, la lógica del movimiento interno de sus categorías, y por otra mantiene y refuerza el vínculo con la ciencia en desarrollo, cuya experiencia utiliza para enriquecer las propias categorías con un nuevo contenido y darles un alcance cada vez mayor. A ello se debe la circunstancia de que la dialéctica materialista haya conservado su valor de método filosófico correspondiente a los resultados y tendencias de las distintas esferas de la ciencia contemporánea.

Dialéctica de los conceptos y desarrollo del conocimiento en física

La interconexión del conocimiento filosófico y físico en la actualidad, puede mostrarse tomando como ejemplo la dialéctica del desarrollo de los conceptos y de las teorías.

En sus obras filosóficas, Lenin ahondó en la idea de la interconexión y de la flexibilidad polifacética y universal de los conceptos como procedimiento (forma), en cambio constante, de llegar a la esencia de los fenómenos. Al subrayar el carácter objetivo de los conceptos, Lenin reveló la dialéctica de la formación y del funcionamiento de los mismos como recursos del pensar del hombre. Lo que condujo a Lenin a la idea de la flexibilidad de los conceptos fue la evolución de la filosofía, en particular el estudio de *La ciencia de la lógica* de Hegel. "El *reflejo* de la naturaleza en la mente del hombre —escribió Lenin— no se ha de comprender como «muerto», «abstracto», sin movimiento, SIN CONTRADICCIONES, sino como en un PROCESO eterno de movimiento, en el que surgen contradicciones y se resuelven"(1). Correspondientemente, tampoco los conceptos que el hombre formula "son inmóviles, sino que se mueven sin cesar, pasan de unos a otros, trasiegan una cosa en otra, sin lo cual no reflejan la vida auténtica"(2). La movilidad y flexibilidad de los conceptos llega hasta la identidad de los contrarios. Dicho con otras palabras: así como existe la conexión general, universal, de las cosas y de los procesos en la naturaleza, así como toda cosa y todo proceso pueden traducirse, dadas unas condiciones determinadas, en algo distinto (en su contrario), también los conceptos se hallan recíprocamente concatenados y pueden convertirse unos en otros.

La postura dialéctica, el examen auténticamente científico del saber y de sus elementos, entre ellos los conceptos, exigen que se vean, por una parte, las diferencias, los tránsitos a lo opuesto (de la aseveración positiva a la negativa), y por otra parte, la unidad de contrarios, el vínculo de lo negativo con lo positivo. Lenin indicaba que fue precisamente Hegel (y no Kant) quien mostró el tránsito de unas categorías del pensamiento a otras. Cierto es que las ideas de Hegel tenían como fundamento una concepción idealista, motivo por el cual había en ellas muchos elementos místicos, fantásticos e ilusorios. Quienes estructuraron la dialéctica del proceso cognoscitivo sobre

---

(1) V. I. Lenin, "Obras", t. XXIX, pág. 177.
(2) *Ibíd.*, págs. 226-227.

un fundamento materialista fueron Marx y Engels, y en nuevas condiciones históricas, Lenin.

Volviendo una y otra vez al carácter de la dialéctica materialista como doctrina filosófica, Lenin escribe que ésta nos enseña "cómo los contrarios pueden y suelen ser (cómo llegan a ser) idénticos, en qué condiciones suelen serlo, transformándose unos en otros, por qué la mente humana no ha de tomar esos contrarios como muertos, rígidos, sino como vivos, condicionados, móviles, que se transforman unos en otros"(3). Ahora bien, la interconexión universal y la flexibilidad de los conceptos, que llega hasta la identidad de los contrarios, no representa más que un aspecto de su dialéctica. Con la movilidad de los conceptos científicos especula el relativismo, que la interpreta subjetivamente como actividad del pensar sin vínculo alguno con el movimiento de los fenómenos y procesos de la realidad objetiva. Mas, como demostró Lenin, la dialéctica materialista, en oposición al relativismo y a la sofística, estima el cambio de los conceptos como un conocimiento "cada vez más y más profundo de la conexión *objetiva* del mundo"(4).

Únicamente la dialéctica materialista ha descubierto cómo y por qué la flexibilidad de los conceptos se combina con su anterior objetividad y carácter concreto. El desarrollo de la ciencia natural, y en particular de la física, en el siglo XX ha confirmado las conclusiones a que llegó Lenin y proporciona un riquísimo caudal de datos para nuevas generalizaciones gnoseológicas. Reconocer el tránsito recíproco de los conceptos, sus conexiones y diferencias, y señalar su carácter objetivo, lo que no excluye la correlación de lo absoluto y lo relativo en su contenido, ha de formar la base indefectible de la metodología de la ciencia natural contemporánea. Es necesario tener constantemente en cuenta que "el hombre no puede abarcar = reflejar = representar la naturaleza *entera*, por completo, su «integridad inmediata»; sólo puede aproximarse *eternamente* a ello creando abstracciones, conceptos, leyes, una imagen científica del mundo, etc., etc."(5).

La física, al igual que otros dominios de las ciencias naturales, opera con conceptos, y ello en la física contemporánea resulta mucho más patente que en la clásica. Ciento o doscientos años atrás, los científicos dedicados a la investigación de la naturaleza podían enorgullecerse de tratar de hechos, de resultados experimentales. Como advertía Hegel, de escuchar a los naturalistaas "resulta que observan, dicen sólo lo que ven; pero no es verdad, inconscientemente transforman mediante el concepto lo que ven de modo directo. Y la discusión no versa sobre la contradicción entre lo que se observa y el concepto absoluto, sino sobre la contradicción entre el concepto limitadamente fijado y el concepto absoluto. Los naturalistas demuestran que no existen transformaciones... Así ocurre con toda expresión verbal de la percepción y de la experiencia; dado que el

---

(3) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 98.
(4) *Ibíd.*, pág. 161.
(5) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 164.

hombre habla, en sus palabras se halla contenido un concepto; es imposible no admitir el concepto; lo reproducido en la conciencia contiene siempre el hálito de la universalidad y de la verdad" [6]. Y Lenin comenta: "Es muy cierto e importante, y Engels lo repetía de manera más popular cuando escribía que los naturalistas han de saber que los resultados de la ciencia natural son conceptos, y que el arte de operar con conceptos no es innato, sino resultado de dos milenios de desarrollo de las ciencias naturales y de la filosofía. Los naturalistas tienen un concepto muy limitado de la transformación, y no comprenden la dialéctica" [7].

Los físicos de nuestra época no dudan ya en lo más mínimo de que los conceptos con que operan son muy abstractos y distan mucho de fijar simplemente los resultados de la observación empírica, saben que se trata de conceptos fluidos. Lo que les acongoja es otra cuestión: ¿qué se oculta tras las formas, las ecuaciones y los términos de la teoría física, cómo pueden interpretarse sus signos y sus nexos para que la física no pierda su objetivo cardinal, conocer la realidad objetiva? Es importante subrayar, al respecto, que los físicos más eximios del siglo XX no consideran en absoluto la evolución constante de los elementos del conocimiento físico como motivo para negarse a reconocer la existencia objetiva del mundo físico o su cognoscibilidad. El modo de pensar de los físicos de hoy difiere radicalmente del modo de pensar de los físicos a caballo entre el último siglo y el actual. Ahora bien, esta circunstancia no significa en absoluto que en la física del siglo XX no exista el problema de la objetividad del conocimiento físico. Tal problema surge, en una u otra forma concreta, cada vez que la física pasa a una nueva etapa de su desarrollo progresivo, cuando la imagen existente del mundo cambia.

El carácter problemático de la objetividad del saber físico contemporáneo se revela con toda precisión en el libro del conocido científico norteamericano G. C. Mc Vittie [8]. Todo físico, trabaje en el dominio de la física clásica, o en el de la relativista o cuántica, escribe este autor, ha de responder a las siguientes preguntas: "¿cuál es la naturaleza de los conocimientos científicos? ¿Son sus conclusiones (es decir, de la física clásica, relativista y cuántica. - *P. K.* y *P. D.*) fragmentos indiscutibles y absolutos de una verdad definitiva o representan construcciones inevitablemente transitorias y condenadas a desaparecer?" [9]. Para todo físico ha de servir como premisa de su posición filosófica la tesis de que "la materia existe" [10], insiste

---

(6) Citado según *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 236.

(7) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 236.

(8) Ver *G. C. Mc Vittie*, "La teoría general de la relatividad y la cosmología", Moscú, 1961, págs. 18-25.

(9) *G. C. Mc Vittie*, "La teoría general de la relatividad y la cosmología", Moscú, 1961, pág. 18.

(10) El científico francés M. A. Tonnelat ha expresado esta misma idea con máxima precisión: "La objetividad del mundo exterior, independientemente de nuestra conciencia, es un postulado que todo físico adopta" (*M. A. Tonnelat*, "Renovación del concepto de relatividad en la física de Einstein". "Selección einsteiniana", Moscú, 1966, pág. 195).

Mc Vittie, así como la de que en primer lugar le son accesibles los datos de las sensaciones, es decir, datos obtenidos por la observación y la experimentación, y que luego el físico procura ordenar y sistematizar operando mentalmente. A continuación, Mc Vittie examina dos puntos de vista sobre los métodos de ordenación y sistematización de los datos indicados.

Según el primer punto de vista, escribe, los resultados definitivos del estudio de los datos de las sensaciones, resultados expresables en forma de conceptos, principios y teorías, muestran que esos datos "descubren la existencia del mundo exterior, denominado naturaleza, cuyas propiedades son *racionales*, así como también *independientes* del observador. Éste se ocupa de descubrir dichas propiedades valiéndose de las indicaciones que proporciona la percepción sensorial"(11). Desde este punto de vista, las leyes de la naturaleza son principios según los cuales "trabaja" ese mundo racional exterior. Es en el marco del primer punto de vista en el que habitualmente funcionan conceptos como los de "causa y efecto", "demostraciones", "verdad y error", y otros análogos. Por esto se dice, por ejemplo, que "Newton *descubrió* la ley de los cuadrados inversos en relación con la gravitación, pero Einstein *demostró* que esta ley es *errónea* y *descubrió* que la *causa* de la gravitación es la curvatura del espacio" (12). Ahora bien, si el objetivo de la ciencia consiste en investigar las propiedades de un mundo con existencia independiente, nos vemos obligados a reconocer, observa Mc Vittie, que dicha investigación ha sido en extremo desdichada. Realmente, existen muchos rasgos de ese mundo que, descubiertos por los científicos en el pasado, ha sido preciso cambiar o desechar... Desde este punto de vista, la particular colección, actualmente conocida, de propiedades del mundo exterior no se encuentra en mejor estado, aunque vaya acompañada del adjetivo "contemporánea". Creemos en estas propiedades por la misma razón que nuestros predecesores creían en los rasgos del mundo exterior por ellos "descubiertos", a saber: porque los necesitamos para interpretar los datos de las sensaciones de que disponemos en el presente. Nos sirven para ordenar los datos sensoriales en el edificio coherente de una teoría, para racionalizar el desorden en que esos datos se nos presentan" (13). Si aceptamos el primer punto de vista (es decir, "la doctrina del mundo exterior racional"), tenemos que el análisis de la historia del desenvolvimiento de la física, subraya G. C. Mc Vittie, lleva a la conclusión de que "la ciencia permanece inevitablemente en el error, ya que Kepler, Newton o Einstein «han demostrado» periódicamente que sus antecesores se habían equivocado" (14).

Desde el segundo punto de vista, que aparece en calidad de

---

(11) *G. C. Mc Vittie*, "La teoría general de la relatividad y la cosmología", pág. 20.

(12) *Ibíd.*

(13) *Ibíd.*, págs. 20-21.

(14) *Ibíd.*, pág. 21.

alternativa del primero, prosigue Mc Vittie, la ciencia, sus conceptos y teorías se consideran "como método de correlación de los datos de las sensaciones". Dicho con otras palabras, aunque la reunión de los datos de las sensaciones puede o formar o no formar un todo racional, "la mente humana al elegir las clases de los datos, hace progresos, agrupando los datos de referencia en sistemas racionales". A juicio de Mc Vittie, los conceptos y sus sistemas se diferencian entre sí tan solo por unir en un todo racional diverso los datos de las sensaciones habitualmente denominados fenómenos físicos por parte de quienes se dedican a la física. La mecánica de Newton y la teoría de la atracción universal, por ejemplo, agrupan en un sistema razonado los fenómenos concernientes a los movimientos de los planetas, mientras que la mecánica cuántica (otro sistema de correlación) agrupa en otro sistema los fenómenos atómicos. Conceptos como campo "electromagnético" y campo "gravitacional", "luz", "átomos", son únicamente concepciones que se utilizan al fabricar sistemas de correlación, pero no características del mundo exterior. El contenido de tales concepciones puede cambiar en dependencia de la manera en que se interpreten determinados datos de las sensaciones, por ejemplo, al interpretar un grupo de datos, la "luz" se considera como un torrente de partículas, y si se interpretan otros datos, se considera como una onda. Tomando este criterio como punto de partida, resulta que "los conceptos de verdad y de error, de causa y de efecto, de descubrimiento y de interpretación, ahora o pueden desecharse o pueden considerarse convencionales", recalca Mc Vittie. Adoptada semejante posición, el objetivo de la física se cifra tan solo en buscar caminos para construir un esquema racional de pensamiento que constituya un sistema conceptual (una teoría) en cuyo marco quede incluida una máxima cantidad de datos sensoriales, a primera vista no relacionados entre sí exteriormente.

En este caso, la teoría general de la relatividad de Einstein, por ejemplo, se diferencia de la teoría de la atracción universal de Newton únicamente por el hecho de incluir (la primera) como determinado método de correlación de los fenómenos, además, y al lado de los movimientos habituales de los planetas, los fenómenos del movimiento del perihelio de Mercurio. De ahí se sigue, naturalmente, que dos teorías físicas, importantes ambas, pueden interpretar un mismo fenómeno físico (por ejemplo, el de la aberración se interpreta con el mismo éxito tanto en los términos de la teoría de Newton como en los de la teoría de la atracción de Einstein), que una teoría física no puede ser en general "acertada" o "desacertada", sino adecuada o inadecuada como medio de correlación "dentro de los miembros de un determinado grupo de datos". Supongamos que un concepto tan básico de la teoría general de la relatividad como el de campo de atracción se considera desde ese punto de vista (por el que se inclina en última instancia Mc Vittie) "no más que como un recurso auxiliar de cálculo". Correspondientemente, si nos atenemos al segundo punto de vista, también las leyes de la naturaleza, afirma Mc Vittie, "son simplemente postulados fundamentales que se encuentran en la

base de la teoría, y han de considerarse como libres creaciones de la mente humana. Tales obras de creación tienen que armonizar con las observaciones, y cuanto mejores sean tanto mayor será el número de observaciones que ofrecerán al investigador" [15]. En esto consiste la esencia de los razonamientos del científico norteamericano.

Resulta, pues, que si bien Mc Vittie acepta inicialmente (como algo sobreentendido) la afirmación de que la materia existe (y no se opone en principio a que sea cognoscible) y considera la evolución ininterrumpida de los conocimientos físicos como estado totalmente normal de la ciencia, ello no le impide, en último término, sentir simpatías por el punto de vista según el cual los conceptos y sus sistemas (teorías) no pasan de ser más que distintos procedimientos para sistematizar los datos de las sensaciones del observador, y nada más. De este modo, aunque el mundo físico exista objetivamente, los físicos no disponen de conocimientos acerca de dicho mundo, sino tan solo de sistematizaciones de los datos de las sensaciones, con la particularidad de que éstas (es decir, las sensaciones) no se estiman como imágenes del mundo físico. En este caso, Mc Vittie, inclinándose hacia la concepción positivista del conocimiento, se sitúa en la plataforma del agnosticismo y del subjetivismo en lo tocante a la naturaleza del saber físico.

Sabido es, no obstante, que existe otra manera de vencer las dificultades —y es la única justa— surgidas en el plano teorético-cognoscitivo al crearse la física relativista y luego la cuántica. La indicó Lenin ya a comienzos del siglo XX, y consiste en que los científicos se sitúen en las posiciones de la gnoseología materialista dialéctica, según la cual la objetividad del saber científico-natural se halla orgánicamente vinculada al carácter dialéctico del conocimiento como proceso para llegar a la captación de la verdad.

¿Cuáles son los aspectos de la dialéctica de los conocimientos singularmente importantes para comprender el proceso de su desarrollo y cambio en la física contemporánea, lo mismo que, por lo demás, en la ciencia en general? 1) El concepto científico no se reduce de ningún modo a fijar lo observado directamente, a expresar los datos de la experiencia. "La posición mental (del hombre) ante una cosa singular, el tomar de ella un molde (= un concepto) no es un acto simple, directo, como en un espejo muerto, sino un acto complejo, desdoblado, en zigzag, que *encierra* en sí la posibilidad de que la fantasía se aleje de la vida..." [16], subraya Lenin. 2) La ciencia se dirige inevitablemente hacia la abstracción, y este proceso es contradictorio, dado que la abstracción hasta cierto punto mata el movimiento vivo de la realidad. Hegel demostró que "en los conceptos abstractos (y en su sistema), *no es posible* expresar el principio del movimiento si no es como principio de identidad de los contrarios" [17].

---

(15) *G. C. Mc Vittie*, "La teoría general de la relatividad y la cosmología", pág. 23.

(16) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 330.

(17) *Ibíd.*, pág. 308.

Lenin desarrolla esta idea, ya sobre una base materialista, como sigue: "No podemos presentar, expresar, medir ni representar el movimiento sin interrumpir lo continuo, sin simplificar, sin hacer tosco, sin dividir y sin extirpar lo vivo. La representación mental del movimiento es siempre una simplificación tosca, paralizante; y no sólo la representación por medio del intelecto, sino, además, la que proporciona la sensación; y no sólo la representación del movimiento, sino, además, la de TODO concepto. Y en ello radica la *esencia* de la dialéctica. Y es precisamente esta esencia lo que expresa la fórmula: unidad, identidad de contrarios" (18). Tal es el motivo de que en ningún caso pueda asignarse un valor absoluto a ninguna abstracción, a ningún concepto, a ninguna categoría ni a ninguna ley, ni se puedan convertir en fetiches. Lenin arremete contra las tentativas que se hicieron, a últimos del siglo pasado y comienzos del actual, de considerar como fetiches algunas categorías, señala las tendencias cándidamente realistas en la manera de comprender la naturaleza de tales categorías. Y sobre este particular de nuevo recurre a Hegel. "El «quebrantamiento» y la «dislocación» de las palabras y de los conceptos a que en este lugar se entrega Hegel —subraya Lenin— representan una lucha contra la absolutización del concepto de *ley*, contra su simplificación, contra las tentativas de convertirlo en un fetiche. ¡¡¡*NB* para la física contemporánea!!!" (19). Y más adelante añade: Para Hegel, "la causalidad es tan sólo *una* de las determinantes de la conexión universal que él captó ya antes mucho más profunda y omnilateralmente, subrayando *siempre* y desde el comienzo mismo, en *toda* su exposición, ese nexo, esos tránsitos recíprocos, etc., etc. Sería muy instructivo comparar los «esfuerzos» del neoempirismo (*respective* del «idealismo físico») con la solución, o mejor dicho: con el método dialéctico, de Hegel" (20). 3) Pero la abstracción no es un fin, sino un medio para llegar al conocimiento de lo concreto, un procedimiento para aproximarse a la verdad. "El pensamiento, al ascender de lo concreto a lo abstracto, no se aparta —si es *correcto* (*NB*)... *de* la verdad, sino que se le acerca. La abstracción de *materia*, de *ley* natural, de *valor*, etc., en una palabra, *todas* las abstracciones científicas (correctas, serias, no absurdas) reflejan la naturaleza de manera más profunda, fiel y plena" (21). Para que las abstracciones reflejen más profundamente la realidad (en los conceptos y en las teorías de la ciencia), se toman en conjuntos. "Los conceptos humanos —subrayaba Lenin— son subjetivos en lo que tienen de abstractos y aislados, pero son objetivos en su totalidad, en el proceso, en el resultado, en la tendencia, en su fuente" (22).

Finalmente, el movimiento de los conceptos, su cambio y desarrollo no sólo se hallan enlazados con la limitación con que unos con-

---

(18) *Ibíd.*, pág. 233.
(19) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 135.
(20) *Ibíd.*, pág. 146.
(21) *Ibíd.*, pág. 152.
(22) *Ibíd.*, pág. 190.

ceptos determinados pueden aplicarse en un dominio concreto (nuevo) de fenómenos, sino, además, con la afirmación del contenido absoluto en dichos conceptos y sus sistemas. Como subrayaba Lenin, "no es la negación pura, no es la negación fútil, *no es* la negación *escéptica*, la vacilación y la duda lo característico y esencial en la dialéctica —que, sin duda alguna, contiene el elemento de la negación y lo contiene, además, como su elemento más importante— sino la negación como momento de enlace, como momento de desarrollo, con mantenimiento de lo positivo, es decir, sin vacilación alguna, sin ningún eclecticismo" [23].

El proceso del movimiento de los conceptos, proceso representado en la teoría materialista dialéctica del conocimiento, expresa las tendencias del desarrollo de la física contemporánea y muchos físicos famosos llegan espontáneamente a esa dialéctica. En la metodología de la ciencia natural del siglo XX cabe distinguir cuatro concepciones fundamentales acerca de la naturaleza gnoseológica de los conceptos científico-naturales en general. Primera concepción: todo concepto es un reflejo directo e inmediato de algún elemento de la realidad objetiva. Según la segunda concepción, todo concepto constituye un medio de correlación, de sistematización de nuestras sensaciones, vivencias, representaciones, es decir, de los datos de la experiencia y del experimento (desde este punto de vista, el valor de los conceptos se determina por la medida en que, utilizándolos, se logra formar un esquema racional en máximo grado que sistematice los datos de las sensaciones no relacionados entre sí ni siquiera externamente). Tercera concepción: los conceptos son un medio para expresar alguna "idea absoluta" o incluso algún esquema matemático abstracto situado por encima de la "materia corriente" o en su base. Finalmente, según el cuarto punto de vista, los conceptos aparecen como recursos lógicos para sistematizar los resultados de la interacción entre el objeto y el sujeto del conocimiento (interconexiones de carácter material, práctico, y teóricas), siendo en última instancia un reflejo y una representación de la esencia de las cosas y de los procesos del mundo material. El primer punto de vista es ingenuamente realista; el segundo, positivista; el tercero, idealista objetivo, y el cuarto, materialista dialéctico. Es necesario señalar que bajo la presión de los hechos, los físicos más preeminentes de nuestra época como A. Einstein, N. Bohr, Louis de Broglie, W. Heisenberg, M. Born, Paul A. M. Dirac y muchos otros, se vieron obligados a apartarse de la primera concepción, que había encontrado en la física clásica su plasmación más brillante. También se desengañaron de la segunda concepción (la tercera estuvo, en verdad, poco difundida entre los físicos a finales del siglo pasado y en la primera mitad del actual —bastará recordar la famosa crítica que hizo M. Born de las concepciones positivistas de H. Dingle y H. Margenau [24]—, que a principios del siglo XX atraía a los físicos por

---

(23) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 207.

(24) Ver *M. Born*, "La física en la vida de mi generación". Compendio, Moscú, 1963, págs. 267-284 y otras.

su aparente orientación antimetafísica y antimecanicista sazonada con escepticismo, útil en el período de brusco quebrantamiento de conceptos y representaciones. De este modo, dada la inconsistencia de sus bases de partida, la gnoseología positivista no puede satisfacer a los físicos, pues está en contradicción con la esencia de la propia física: la primera concibe las sensaciones como la realidad única y "última", mientras que la física parte necesariamente del reconocimiento de la existencia objetiva del mundo exterior, fuente de las sensaciones y de las percepciones, y, por ende, contenido de los conocimientos físicos. Así, pues, la segunda concepción conduce, en último término, al subjetivismo y al agnosticismo (como lo atestiguan numerosas declaraciones de los propios físicos dirigidas contra la gnoseología positivista).

Las ideas y los principios del materialismo y de la dialéctica van adquiriendo creciente popularidad entre los físicos más eminentes de los países capitalistas. Einstein y otros físicos relativistas, así como la mayor parte de los representantes de la escuela de Copenhague, con N. Bohr al frente, se han situado en este camino, el único acertado, en lo que atañe a la naturaleza del conocimiento físico; ello no obstante, su posición en lo tocante a la metodología de la física no es consecuente en todos los casos, dado que procuran eludir la solución unívoca, materialista, del problema básico de la filosofía en el marco de la gnoseología; dicho con otras palabras, no siempre se atienen consecuentemente a los fundamentos de partida de la metodología materialista dialéctica. Recordemos cuánto influyeron en configurar la orientación materialista de los principios gnoseológicos de la física del siglo XX los trabajos que realizaron sobre metodología de la física eminentes físicos soviéticos como S. Vavílov, A. Ioffe, I. Frenkel, M. Márkov, V. Fok, I. Tamm, D. Blojintsev y muchos otros que hicieron suyos, conscientemente, los principios de la filosofía materialista dialéctica.

Los propios creadores de las nuevas teorías físicas básicas del siglo XX han subrayado el carácter objetivo de los conceptos y de los sistemas conceptuales de la ciencia física. "...Los conceptos de la física —escribió Einstein— se refieren al mundo exterior real, es decir, presuponen ideas acerca de las cosas que exigen una «existencia real» (cuerpos, campos, etc.) independiente de los sujetos percipientes..." [25]. En otro lugar indicaba que "sin creer que con nuestras formaciones teóricas es posible captar la realidad, sin creer en la armonía interior de nuestro mundo, ninguna ciencia sería posible. Esta creencia es, y será siempre, el principal motivo de toda creación científica" [26].

Los principales físicos de la escuela de Copenhague, encabezados por N. Bohr, han señalado reiteradamente la continuidad de la física clásica y de la física cuántica en el reconocimiento del carácter obje-

---

(25) *A. Einstein*, "Colección de trabajos científicos", t. III, Moscú, 1966, pág. 613.

(26) *Ibíd.*, t. IV, Moscú, 1967, pág. 543.

tivo de los conceptos y de los sistemas conceptuales. La ampliación del sistema conceptual existente de la física, ampliación que se expresa en la creación de la física relativista y cuántica, escribió N. Bohr, "no presupone referencia alguna al sujeto observador (semejante referencia constituiría un obstáculo para la transmisión unívoca de los hechos de la experiencia). En los razonamientos de la teoría de la relatividad tal objetividad se asegura teniendo en cuenta la dependencia de los fenómenos respecto al sistema de cálculo del observador, mientras que en las descripciones complementarias la subjetividad queda excluida teniendo en cuenta las circunstancias que hacen unívoca la aplicación de nuestros conceptos iniciales" (27). "Hace ya mucho tiempo que la objetividad constituye el superior criterio del valor de los descubrimientos científicos —comenta W. Heisenberg—. ¿Corresponde a este ideal la interpretación copenhaguiana de la teoría cuántica? Con toda probabilidad tenemos derecho a decir que, en la medida de lo posible, la teoría cuántica corresponde a dicho ideal. Indudablemente, la teoría cuántica está exenta de todo rasgo realmente subjetivo y no ve de ningún modo la conciencia del físico como parte del acontecimiento atómico" (28). Puede llegarse a la conclusión de que, en lo que atañe al reconocimiento del carácter objetivo de los conocimientos físicos, el criterio de los fundadores de la física contemporánea no se diferencia, desde un punto de vista de principio, del de los fundadores de la física clásica (huelga decir, claro está, que en la física del siglo XX cambian los procedimientos lógicos con que se representa la realidad objetiva).

Ahora bien, el reconocimiento de la objetividad de los conceptos y de los sistemas conceptuales en la física del siglo XX no significa de ningún modo que no existan diferencias importantes en la manera de comprender la naturaleza gnoseológica de los conocimientos físicos entre los representantes de la física clásica y los representantes de la física cuántica. La cuestión está en que para asegurar la objetividad de la descripción de los datos experimentales así como su captación íntegra, como demostró N. Bohr, "es indispensable casi en todos los dominios del saber prestar atención a las circunstancias en que tales datos se han obtenido" (29). Tal idea se encuentra formulada con meridiana claridad en la obra de W. Heisenberg *Física y filosofía*. En la base de las ciencias naturales, reconoce, se hallan "distintas formas de realismo" cuya esencia puede expresarse como sigue: "...objetivamos una tesis si afirmamos que su contenido no depende de las condiciones en que puede ser comprobada". Por consiguiente, la medida de la objetividad de los principios de la teoría física se determina con independencia de las condiciones en que tales principios puedan comprobarse. En este plano, W. Heisenberg destaca dos formas

---

(27) *N. Bohr*, "La física atómica y el conocimiento humano", Moscú, 1961, pág. 147.

(28) *W. Heisenberg*, "Física y filosofía", Moscú, 1963, pág. 34.

(29) *N. Bohr*, "La física atómica y el conocimiento humano", pág. 13.

básicas de realismo: el práctico y el dogmático (metafísico). El primero admite que "existen tesis susceptibles de ser objetivadas, y de ellas consta, en realidad, casi toda la experiencia de la vida cotidiana"; en cambio el segundo afirma que "no existen tesis comprendidas acerca del mundo material que no se puedan objetivar" (30), que los enunciados del científico "no dependen de las condiciones en que se comprueben". El realismo dogmático en el pasado influyó poderosamente en el progreso de las ciencias naturales; baste decir que "el punto de vista de la física clásica es el punto de vista del realismo dogmático". Y tan solo después de haber aparecido la física cuántica resultó claro que "las ciencias naturales también son posibles sin tener el realismo dogmático como fundamento", que "el realismo práctico ha sido siempre una base esencial de las ciencias naturales, y lo seguirá siendo en el futuro".

El curso todo de los razonamientos de Heisenberg pone de manifiesto que este autor no se refiere a la objetividad de la descripción en el sentido de reconocer el mundo material exterior como fuente de nuestros conocimientos, sino a la correlación de lo objetivo y de lo subjetivo en el proceso del conocer. En términos más definidos, los razonamientos de Heisenberg pueden interpretarse como sigue: en la anterior metodología de la física se daba por supuesto que todo conocimiento físico se compone exclusivamente de conceptos y afirmaciones que caracterizan sólo los objetos físicos, mientras que en la nueva metodología se reconoce sin ambages que existen asimismo conceptos y afirmaciones que caracterizan también las condiciones en que se obtiene la información relativa al mundo exterior. La gnoseología metafísicamente mecanicista —que considera lo subjetivo tan solo como algo ilusorio, secundario, extraño y erróneo en el proceso del conocer y que no tiene en cuenta la dialéctica de lo objetivo y lo subjetivo— no puede servir como método teórico-cognoscitivo en la física del siglo XX. Tal es, en esencia, la conclusión de W. Heisenberg. Y esta conclusión es, naturalmente, acertada. Pero el mal está en que Heisenberg no va más allá o no desea ver la nueva gnoseología, materialista dialéctica, instrumento indispensable en el hacer cognoscitivo de los científicos contemporáneos. En ese sentido, todas las tentativas de Heisenberg encaminadas a hallar alguna "nueva gnoseología" resultan vanas, pues tal gnoseología ya existe, y más aún: él mismo, prácticamente, la utiliza en parte.

La dialéctica de sujeto y objeto, momento de partida en la comprensión del carácter objetivo de los conceptos y teorías de la física

La creación de la física relativista y luego de la física cuántica hizo que en la metodología de esta ciencia se plantease un problema objeto de discusiones filosóficas ya mucho antes de que se estructurara la física del siglo XX: ¿obtiene el investigador conocimientos objeti-

(30) *W. Heisenberg*, "Física y filosofía", págs. 57-58.

vos si no cabe describir ningún fenómeno físico sin referencia al observador o a sus medios de experimentación, los cuales, como se ve, pueden transformar de manera esencial la conducta de los objetos físicos? En la física relativista los fenómenos físicos no pueden describirse sin referencia a la velocidad de movimiento del sistema inercial de cómputo en que se halle el observador; en la física cuántica los fenómenos atómicos no pueden describirse sin hacer referencia a los dispositivos de medición del investigador, sin tener en cuenta los actos que éste realiza al observar la conducta de los objetos físicos, etc., suponiéndose, por añadidura, que la observación misma transforma el curso de los acontecimientos.

La gnoseología materialista dialéctica da respuesta a tal problema. En esencia, dicha respuesta consiste en que la interacción de objeto y sujeto del conocimiento al nivel de la práctica no está en contradicción con que se reconozca la existencia objetiva del mundo exterior, sino que la presupone y, correspondientemente, lo subjetivo en el conocimiento que se obtiene expresa el momento de la actividad objetiva del sujeto, sin que quede reducido a algo exclusivamente ilusorio, erróneo y convencional. Porque la objetividad de nuestros conocimientos estriba en que su fuente es el mundo material exterior, y en que, en el proceso de la actividad cognoscitiva, el hombre obtiene una verdad objetiva, es decir, un contenido de conocimientos que no depende del sujeto. Ahora bien, esa verdad objetiva no se expresa en nuestros conocimientos de golpe, ni de manera completa y absoluta, sino tan solo de manera aproximada, relativa y parcial en cada etapa dada de la evolución de la ciencia. Tal contradicción dialéctica de lo objetivo y subjetivo, de lo absoluto y relativo no niega la forma contemporánea del materialismo (como piensan W. Heisenberg y algunos otros físicos occidentales). Al contrario, en sus rasgos esenciales, la descubrieron precisamente Marx, Engels y Lenin ya mucho antes de que se produjeran las discusiones acerca del carácter objetivo del saber que proporcionan la física relativista y la física cuántica.

Vemos, pues, que la física contemporánea ha avanzado por el cauce del materialismo y de la dialéctica, incluso a pesar de que los propios creadores de la nueva física intentaron negar la tesis que afirma la absoluta orientación materialista dialéctica de la ciencia en general y de la física en particular. A. Einstein, N. Bohr y la mayor parte de los físicos actuales coinciden en que el sistema conceptual y los procedimientos descriptivos en la física del siglo XX son objetivos por su naturaleza, es decir, están condicionados por la existencia del mundo material, que es cognoscible como resultado de la interacción material y práctica del sujeto del conocimiento con los objetos físicos en tanto que fragmentos de dicho mundo. La metodología relativista y cuántica hasta conserva la tesis sobre la posibilidad de la descripción absolutamente objetiva en física, si bien estima tal aseveración como ideal al que tiende el desenvolvimiento del saber en física, y que se realiza sólo parcialmente, de manera incompleta y relativa en cada teoría concreta (nueva) y en cada procedimiento concreto de descripción. Ahora bien, semejante metodología es precisamente la

que corresponde a la doctrina leninista sobre la dialéctica de la correlación entre lo objetivo y lo subjetivo, entre lo absoluto y lo relativo.

Pasemos ahora a un examen más concreto de los conceptos y de los sistemas conceptuales (a su desarrollo y a sus interconexiones) en la física del siglo XX. Necesitamos para ello algunas definiciones complementarias. A nuestro modo de ver, en la metodología de la física del siglo XX, la relación cognoscitiva de partida se presenta como sigue: objetos físicos — condiciones del conocimiento — observador; dicho con otras palabras: la actividad del hombre en cuanto sujeto del conocer se caracteriza mediante dos conceptos, que son el de "observador (investigador)" y el de "condiciones del conocimiento". Por tales condiciones, a nivel del experimento, se entienden el fondo en que transcurren los procesos físicos que el investigador observa, fondo que de manera mediata se halla en interacción con los objetos físicos, y también los medios de investigación de estos últimos, concretamente: los sistemas (cuerpos) de cómputo y los dispositivos de medición que el investigador construye fundándose en determinadas premisas teóricas. En cambio, en el plano de la teoría, se sobreentienden por condiciones del conocimiento el "lenguaje de las observaciones" que funcione en el sistema teórico dado, así como también el fondo científico y los medios de desarrollar e interpretar los nuevos sistemas teóricos.

Teniendo en cuenta las definiciones que acabamos de aducir, observamos que el instrumental conceptual de la física contemporánea puede clasificarse como sigue: a) conceptos que caracterizan "directamente" determinados aspectos del mundo físico (por ejemplo, movimiento, interacción, causalidad, espacio, tiempo); b) conceptos que caracterizan el objeto físico "por sí mismo" (por ejemplo, magnitudes y correlaciones invariantes, substancia, campo, vacío); c) conceptos que caracterizan la relación de las condiciones del conocimiento con el objeto físico (por ejemplo, magnitudes variables, supongamos las coordenadas, relatividad de la simultaneidad); d) conceptos que caracterizan las condiciones del conocimiento en sus relaciones con el objeto y el observador, (por ejemplo, cuerpo del cómputo, sistema de coordenadas, dispositivos de medición).

Cabe presuponer que existen los siguientes caminos posibles de desarrollo del instrumental conceptual de la ciencia física: a) puntualización del contenido del concepto; b) examen de los límites de aplicabilidad del concepto; c) esferas orgánicas de aplicabilidad del concepto; d) "escisión" del concepto dado en dos o en otros varios conceptos; e) negación, por principio, de la legitimidad de algunos conceptos; f) creación de conceptos nuevos en el plano de los principios. Es necesario recalcar que tanto la física relativista como la cuántica disponen de varias vías características para el desarrollo del instrumental conceptual.

Intentaremos concretar las tesis arriba indicadas, digamos, en una primera aproximación. Ante todo observemos que el contenido de los conceptos, en física, se va precisando sin cesar gracias a experimentos que se realizan según un plan; en cada etapa dada del desarrollo se

conoce ya por completo determinada "extensión" del concepto de que se trate (es la esfera de sus aplicaciones). Desde luego, el concepto entra en la composición de uno o de varios sistemas lógicos de conceptos, sistemas que se caracterizan por poseer una misma esfera de aplicación para todos los conceptos que lo componen; es, precisamente, al entrar en tales sistemas cuando surge el problema de cuáles son los límites de la aplicabilidad del concepto.

Lo que caracteriza a las físicas relativista y cuántica no es tan solo la "escisión" y la limitación de la zona de aplicabilidad de los "viejos" conceptos, sino, además, la formulación de aquellos que expresan con singular claridad la especificidad cualitativa de los fenómenos físicos que se investigan. Así, en la física relativista se limita la "extensión" del concepto de velocidad de expansión de las interacciones físicas (la velocidad de la difusión de la luz en el vacío se considera velocidad límite), el concepto de velocidad se "escinde" hasta cierto punto en dos conceptos: el de velocidad de la difusión de la luz en el vacío y el de todas las demás velocidades; se puntualiza el contenido del concepto de espacio y tiempo (se retiran como ficticios los conceptos de "espacio absoluto", "tiempo absoluto", "simultaneidad absoluta"), etc.

La física relativista no acepta una concepción como la de "éter mecánico" e introduce un concepto nuevo en el terreno de los principios, el concepto de campo. Luego parece como si dicho concepto se "escindiera" en los de campo electromagnético y campo gravitacional (no son, precisamente, las cargas ni las partículas lo esencial para comprender los fenómenos físicos, sino el campo en el espacio entre cargas y partículas). Cuando hubo aparecido la física relativista, en la ciencia física se inició el proceso de clasificación de los conceptos físicos fundamentales y no-fundamentales (pues un concepto "no-fundamental" puede resultar "fundamental", como sucedió, por ejemplo, con el de simultaneidad en la física relativista). Los físicos no sólo aclararon el carácter relativo de la división de los conceptos en "fundamentales" y "no-fundamentales", sino que, además, empezaron a tratar con más circunspección los "fundamentales" y a considerar con más espíritu crítico las definiciones existentes de los conceptos.

También la física cuántica limita ante todo, correspondientemente, la esfera de aplicación de varios conceptos de la física clásica. Así, por ejemplo, la mecánica cuántica limita la "extensión" de tales conceptos como el de "coordenada" y el de "impulso de la partícula". Estos conceptos clásicos sólo pueden caracterizar los objetos atómicos en lo tocante a los dispositivos de medición, con la particularidad de que han de hacerlo de modo que se excluyan recíprocamente. En este sentido, la interpretación copenhaguiana de la mecánica cuántica puede estimarse como una determinada adaptación de los "viejos" conceptos clásicos al nuevo formalismo matemático para describir nuevos objetos físicos: los atómicos. Ahora bien: de esto no se sigue en absoluto que las características de las micropartículas se hallen vinculadas a una clase determinada de aparatos macroscópicos de medición: características, por ejemplo, como las de carga, masa, espín, grado de liber-

tad, especie de ecuación de onda en un campo dado, ley de interacción con otras partículas y otras características no están relacionadas precisamente con la estructura de los instrumentos (mientras que las coordenadas y el impulso de la partícula carecen de determinación macroscópica unívoca). Prestaron singular atención a este aspecto del problema los científicos soviéticos, en particular M. Márkov y V. Fok. Éste, por ejemplo, escribió: el objeto de la mecánica cuántica es "el resultado de la interacción del objeto atómico con el aparato que se describe en los términos clásicos. Del examen de tales interacciones se infieren asimismo las propiedades del objeto atómico, y las predicciones de la teoría se formulan como resultados esperados de las interacciones. Semejante planteamiento de la cuestión no excluye la introducción de magnitudes que caracterizan el objeto mismo independientemente del aparato (carga, masa, espín de la partícula, etc.), pero al mismo tiempo permite estudiar la conducta del objeto desde el punto de vista de su faceta (por ejemplo, corpuscular u ondulatoria) cuya manifestación se halla condicionada por la estructura del aparato.

De esta suerte, el nuevo planteamiento de la cuestión permite examinar asimismo el caso en que distintas partes y propiedades del objeto no se ponen de manifiesto simultáneamente, es decir, cuando resulta imposible detallar el proceso en que el objeto participa. Esto será así en el caso de que deban darse condiciones externas incompatibles para que se revelen distintas propiedades del objeto (por ejemplo, la capacidad del electrón para la localización y su capacidad para la interferencia). Cabe decir, según Bohr, que las propiedades puestas de manifiesto en condiciones que se excluyen mutuamente se completan unas a otras. Examinar simultáneamente la manifestación de propiedades complementarias carece de sentido. Esto es lo que explica, precisamente, la falta de contradicción interna en el concepto de "dualismo corpuscular-ondulatorio"[31].

Sin embargo, crear la física cuántica (como también la relativista) representó no sólo limitar la esfera de aplicación de los conceptos de la física clásica, sino, además, establecer conceptos nuevos desde un punto de vista de principio. Hicieron especial hincapié en este hecho los científicos soviéticos V. Fok y M. Omelianovski. Los esfuerzos principales de Bohr, escribió Fok, se aplicaban en explicar las limitaciones de los viejos conceptos clásicos; en los trabajos de Bohr se habla poco de cuáles son los nuevos conceptos primarios de la mecánica cuántica que en este sentido surgen en lugar de los conceptos clásicos, no se subraya que son ilimitadas las posibilidades de los nuevos conceptos para puntualizar la descripción de los objetos atómicos. "Porque no sólo poseen valor filosófico las limitaciones propias a la descripción de los fenómenos «en sí mismos», al margen de los procedimientos de observación («complementariedad»), sino, además, la parte constructiva de la mecánica cuántica y los nuevos conceptos primarios relacionados con ella.

---

(31) *V. A. Fok*, "La física cuántica y la estructura de la materia", Leningrado, 1965, págs. 11-12.

A nuestro juicio, los conceptos primarios de ese tipo, con los que cabe estructurar la física atómica, son los siguientes: el de relatividad en cuanto a los medios de observación, el de diferencia entre lo potencialmente posible y lo llevado a cabo (o entre prognosis y hecho) y, finalmente, el concepto de probabilidad como medida numérica de lo potencialmente posible. El instrumental de la mecánica cuántica cuyo objetivo intrínseco consiste en servir para el cálculo de esa medida numérica, es al mismo tiempo un medio para introducir nuevas abstracciones, nuevos conceptos físicos, más exactos, y para describir con mayor precisión —utilizando estos conceptos— las propiedades de los objetos atómicos. Con la introducción de nuevos conceptos primarios adquiere asimismo una nueva formulación el concepto de causalidad"[32].

La formación y el desenvolvimiento de la física relativista y cuántica constituyen asimismo una prueba de la flexibilidad y de la interconexión de conceptos tan fundamentales como los de "interacción", "formas de movimiento", "espacio y tiempo", "ley", "causalidad" y muchos otros. El que hayan aparecido las denominadas teorías físicas unificadoras (del tipo de la teoría especial de la relatividad y de la mecánica cuántica), así como las tentativas de crear una "teoría del campo unificado" y otras tendencias "unificadoras" en el desenvolvimiento de la física del siglo XX son un convincente testimonio de la interconexión interna que existe entre los conceptos de la ciencia física.

La física contemporánea, fuente de nuevas ideas lógico-gnoseológicas

Cabe afirmar, siguiendo a W. Heisenberg[33], que actualmente en la física existen varios sistemas teóricos cerrados (teorías físicas): la mecánica de Newton, la termodinámica (incluyendo el método estadístico), la electrodinámica y la teoría especial de la relatividad, la mecánica cuántica y la teoría general de la relatividad (también ha de formar un nuevo sistema la teoría que se está elaborando sobre las partículas elementales). Cada uno de estos sistemas tiene sus propios conceptos fundamentales y principios de partida. La correlación entre dichos sistemas cerrados de conceptos es la siguiente: la mecánica clásica se halla contenida en la teoría especial de la relatividad como caso límite (cuando la velocidad de la luz puede considerarse infinita) y en la mecánica cuántica como caso límite cuando el cuanto de acción de Planck se considera infinitamente pequeño. La mecánica clásica y en parte la electrodinámica y la teoría especial de la relatividad son indispensables para la mecánica cuántica como fundamento para la descripción de los experimentos. La termodinámica puede rela-

---

(32) *V. A. Fok*, "Observaciones al artículo de Bohr acerca de las discusiones que sostuvo con Einstein". "Éxitos de las ciencias físicas", 1958, t. LXVI, fasc. 4, pág. 600.

(33) Ver *W. Heisenberg*, "Física y filosofía", cap. VI.

cionarse con cualquiera de los sistemas arriba indicados (excluyendo la teoría general de la relatividad). La independencia con que existen la electrodinámica y la teoría especial de la relatividad, así como la mecánica cuántica, sirve como prueba de que puede aparecer un nuevo sistema cerrado de conceptos, concretamente el de la teoría de las partículas elementales, en la cual los dos sistemas que acabamos de citar estarán contenidos como casos límite.

Ante los físicos interesados por el análisis lógico-gnoseológico de sus teorías y por elucidar las bases filosóficas de las mismas, así como ante los filósofos marxistas que se ocupan de la metodología del conocimiento en física, se plantea un gran problema: ver a qué nuevos problemas conduce este análisis y cómo se han de resolver para facilitar, por una parte, la justa interpretación de los resultados de la física así como la determinación de las tendencias fundamentales de su desarrollo, y para completar el arsenal de la dialéctica materialista con nuevos conceptos y categorías que en parte expresen la relación entre el experimento y la especulación en el conocimiento de los objetos físicos, el papel del aparato categorial en la interpretación de las teorías físicas, el significado de los diversos principios en el descubrimiento, la elección y la comprobación de los sistemas teóricos del conocimiento, etc.

Pero antes de pasar a un examen más detallado del problema concerniente al desarrollo de los conceptos y de su interconexión en las teorías físicas, vamos a fijarnos en algunas observaciones de Einstein sobre la apreciación del instrumental de conceptos que posee la física contemporánea en su conjunto. Más arriba hemos citado ya lo que dijo acerca del carácter objetivo de los conceptos físicos. Ahora bien, esta tesis no es óbice para que la conexión entre el experimento y las construcciones teóricas (determinados procedimientos para describir la realidad) resulte en alto grado compleja y no-unívoca. El propio Einstein subrayaba que "no existe método empírico sin conceptos y sistemas puramente especulativos, como tampoco existen sistemas del pensamiento puro en los que no se descubra, con un estudio más detenido, la base empírica en que se asientan"[34]. Al mismo tiempo, Einstein reconocía el "carácter especulativo" de los fundamentos de cualquier teoría física. Los naturalistas de los siglos XVIII y XIX, en su mayoría, estaban convencidos de que "los conceptos fundamentales y las leyes básicas de la física no se hallaban libres, en el sentido lógico, de las invenciones de la razón humana, y de que podían inferirse de los experimentos mediante la «abstracción», es decir, con recursos lógicos —escribió Einstein—". La clara conciencia de que esta concepción es errónea tan solo la proporcionó, en esencia, la teoría general de la relatividad.

Esta teoría demostró que partiendo de conceptos en gran medida distintos de los de Newton era posible describir el correspondiente campo de experiencias de manera hasta más satisfactoria y perfecta que partiendo de la base newtoniana... El carácter especulativo de

---

(34) *A. Einstein* "Colección de trabajos científicos", t. IV, pág. 342.

tales conceptos resulta a todas luces evidente por el hecho de que podemos remitirnos a dos fundamentos esencialmente distintos y ambos corresponden en alto grado a la experiencia. En todo caso, ello demuestra que está condenada al fracaso cualquier tentativa con que se aspire a inferir lógicamente, de la experiencia elemental, los conceptos y leyes fundamentales de la mecánica"[35]. Reconocer el carácter especulativo de las tesis fundamentales de la física, insiste más adelante Einstein, no es óbice, naturalmente, para que en la ciencia, en realidad, "la experiencia sea la guía segura..."[36] para llegar a descubrir la esencia de las cosas, de la conexión de los fenómenos, sujeta a ley.

Constituye una particularidad esencial de la metodología de la física del siglo XX el reconocimiento de que es muy compleja y carece de univocidad la conexión entre la serie de conceptos que funciona en un sistema teórico dado y la situación experimental. Dicho con otras palabras: en física, el procedimiento descriptivo no se forma por vía directamente lógica a partir de las situaciones experimentales; sobre su contenido y estructura ejercen asimismo gran influencia las condiciones del conocimiento en el nivel de la descripción teórica, las leyes "internas" a que obedece la evolución del saber teórico. Si nos situamos en la posición de la gnoseología metafísica mecanicista, no hay modo de imaginarse (y menos aún de comprender) cómo es posible formar dos teorías distintas sustentadas en unos mismos fundamentos experimentales; mas, tal es precisamente la situación que se produjo en la física una vez creada la teoría general de la relatividad. El hecho de que el desarrollo de los sistemas conceptuales, en la física del siglo XX, no siempre haya obedecido a las necesidades inmediatas y a los resultados del experimento ni a las situaciones experimentales concretas, el hecho de que existan leyes "internas" de desarrollo del saber teórico, de que no haya una rígida conexión unívoca entre los medios de descripción y elucidación y la situación experimental dada, sólo puede comprenderse racionalmente partiendo de la gnoseología materialista dialéctica. Es precisamente ella la que descubre la dialéctica de la correlación entre teoría y experimento, al que reconoce como base y criterio de la verdad de la descripción teórica y de la elucidación, a la vez que señala el complejo carácter del contenido y de la estructura del conocimiento teórico, de las leyes de su desarrollo.

Más adelante Einstein subraya que en la física, hasta comienzos del siglo XX, existían conceptos únicos. En el siglo XX, los conceptos "*se escindieron en dos ramas*, una de las cuales pertenece a la *teoría cuántica*, y la segunda a la *teoría* (*relativista*) *del campo*". Su unificación es deseable, pero todavía no se ha alcanzado. La segunda rama pudo desenvolverse basándose en las ideas de Faraday-Maxwell sobre el cambio del concepto de masa por el concepto de campo electromagnético. Por ahora no se ha logrado realizar la idea de que la

---

(35) *A. Einstein*, "Colección de trabajos científicos", t. IV, págs. 183-184.

(36) *Ibíd.*, pág. 184.

substancia puede considerarse como lugar de peculiar condensación del campo. *Se conserva, no obstante, la tendencia a hacer que la multiplicidad de los fenómenos se reduzca a un sistema puramente teórico formado por un número lo menor posible de elementos*"[37]. Vemos pues que Einstein, según declara él mismo, no logró formular la "física pura del campo": la física relativista resultó edificada sobre dos conceptos fundamentales: el de substancia y el de campo. La falta de un sistema único de conceptos en la física contemporánea permitió a Einstein llegar a la conclusión de que los procedimientos aplicables en física para expresar los estados reales de los sistemas físicos que se investigan tienen un carácter problemático. Escribió: "Por ahora no se sabe cuáles son los «medios adecuados» de expresión aplicables en física ni qué conceptos fundamentales debemos utilizar para la descripción completa «del estado real» de los sistemas físicos que se investigan. (¿El punto material? ¿El campo? ¿Algún otro medio de descripción que todavía se ha de encontrar?)"[38].

La creación de la física relativista y cuántica va ligada, como es natural, al desenvolvimiento del sistema conceptual y de los principios de la física, así como de los métodos de pensar de los físicos. En la física relativista, escribió W. Heisenberg, "por primera vez se mostró la necesidad de que periódicamente cambien los principios fundamentales de la física"; "sin duda alguna habría sido mucho más difícil aún comprender la teoría cuántica si el éxito de la teoría de la relatividad no hubiera puesto en guardia a los físicos para no aplicar sin espíritu crítico los conceptos tomados de la vida diaria o de la física clásica"[39].

Hoy se admite unánimemente que la física relativista fue la principal fuerza motriz que rechazó los axiomas metafísicos tradicionales y que afirmó el derecho del científico a presentar ideas en consonancia con su experiencia precedente. La teoría general de la relatividad introdujo en la física gran número de nuevos y fecundos elementos teóricos y provocó una actitud crítica ante afirmaciones de obvia apariencia. "Los trabajos de Bohr y de Einstein ejercieron una influencia decisiva no ya sobre la física de nuestro siglo, sino, además, sobre la concepción científica actual del mundo en general —considera Igor E. Tamm—. La teoría de la relatividad y la teoría de los cuantos hicieron patentes las leyes generales a que obedece el desarrollo del conocimiento científico. Nuestros conocimientos no son apriorísticos, sino que se derivan del análisis y de la generalización de toda la experiencia humana. De ahí que cada vez que el hombre penetra en una zona de fenómenos nueva, inexplorada hasta entonces, resulte necesario revisar a fondo y generalizar los conceptos y representaciones básicos, incluso conceptos como los de tiempo, espacio y ley física. Ello no significa, evidentemente, que la

---

(37) *A. Einstein*, "Colección de trabajos científicos", t. II, Moscú, 1966, pág. 399.

(38) *A. Einstein*, "Colección de trabajos científicos", t. III, pág. 624.

(39) *W. Heisenberg*, "Física y filosofía", pág. 101.

nueva etapa de la ciencia deje de tomar en consideración los resultados de la anterior. Con cada nuevo paso surgen límites a la aplicabilidad de conceptos y leyes consideradas hasta entonces universales, y se descubren leyes de carácter más general. Tal es el motivo de que las exigencias que se presentan a una nueva teoría sean cada vez más rigurosas: ésta no sólo ha de explicar los nuevos hechos descubiertos, sino que, además, ha de incluir en calidad de caso particular todas las leyes descubiertas anteriormente, señalando los límites exactos de su aplicabilidad. Así, todos los fundamentos de la física clásica se hallan contenidos en las leyes más generales de la teoría de la relatividad y de la teoría de los cuantos, leyes de las cuales dichos fundamentos se derivan en condiciones en que las velocidades de los cuerpos son pequeñas en comparación con la velocidad de la luz, y las dimensiones espacio-temporales de los fenómenos y las masas de los cuerpos son tales que la denominada acción es grande en comparación con la constante cuántica h"[40].

Para desenvolver el sistema conceptual de la física al construir la física relativista y cuántica, se utilizaron diversos principios, especialmente el principio de la conformidad, "el inicio de la observabilidad de principio " y el principio de complementariedad. Nos detendremos brevemente en la acción de estos dos últimos principios para demostrar cuán polifacética y universal resulta la flexibilidad de los conceptos en las ciencias naturales contemporáneas[41]. Sabido es que Einstein, ante las dificultades surgidas en la física a últimos del siglo pasado y comienzos del actual al intentar unir la mecánica y la electrodinámica, llegó a la conclusión de que era indispensable revisar críticamente los conceptos cardinales de espacio y tiempo. Se dio cuenta de que estos conceptos universalmente admitidos se basan en gran medida en conjeturas arbitrarias, no en hechos, y reestructuró con éxito la teoría existente de los fenómenos electromagnéticos excluyendo representaciones y conceptos vinculados a prejuicios. Como indicó él mismo, al llevar a cabo esta revisión de los conceptos tradicionales, recurrió a la norma heurística que puede denominarse requisito de la "observabilidad de principio".

Según A. Einstein, para construir una nueva teoría física como sistema lógico íntegro en el cual tan solo algunas nociones admiten una definición "operacional" y tan solo algunos enunciados son susceptibles de comprobación "operacional" directa, se requieren ante todo principios de partida (postulados, axiomas) que conexionen (que determinen) algunos conceptos iniciales, fundamentales. Hechos empíricos y ciertos datos experimentales han de entrar en el sistema en calidad de consecuencias y conclusiones obtenidas deductivamente.

---

(40) *I. E. Tamm*, "A la memoria de Niels Bohr". "Cuestiones de historia de las ciencias naturales y de la técnica", fasc. 17, Moscú, 1964, pág. 3.

(41) Acerca de este particular, véase una exposición más detallada en el artículo: *P. S. Dishlevi, V. M. Sviridenko*, "Sobre el principio de la observabilidad y la concepción de complementariedad". "Problemas metodológicos de la teoría de las mediciones", Kiev, 1966, págs. 13-56.

Mas, para semejante construcción lógica es necesario establecer principios y conceptos de partida, que no pueden obtenerse, mediante simple inducción, del experimento. No por casualidad negaba Einstein la existencia de "reglas" uniformes que determinen la elección de los principios y conceptos de partida de la nueva teoría física. Estimaba que los principios fundamentales han de ser "inspirados por el propio experimento"[42], es decir, que el curso mismo del análisis del experimento en cierto modo ha de "sugerirlos". Cierto es —huelga decirlo— que en todo ello mucho depende de la intuición del investigador, de su imaginación y de sus métodos de pensar.

Imaginémonos, sin embargo, que se ha hallado un principio (o se han hallado varios principios) que puede ser apreciado como resultado de la expresión de los datos de los experimentos, como postulado "empírico". Para formar una teoría física, uno o dos principios y conceptos no bastan, se necesitan un sistema de principios y un sistema de conceptos. Dicho con otras palabras, ningún conjunto de datos experimentales, ni siquiera expresado en forma de principio, puede formar aún una teoría como sistema lógico. Para elaborar un sistema de ese tipo siempre hace falta utilizar otros principios y conceptos que carecen, hablando en general, de conexión directa con el conjunto que se examina, de datos experimentales. Tales principios y conceptos se toman de una teoría ya creada o de representaciones de la "experiencia habitual". Llega más tarde una etapa muy esencial en la formación de la teoría: los conceptos y representaciones que entran en ella, lo mismo que otros principios, han de resultar "compatibles" con los principios que sirven de expresión a los datos empíricos, o dicho de otro modo: los viejos conceptos, representaciones y principios han de someterse a revisión crítica desde el punto de vista del principio que ha de tomarse como base de la teoría y que, según se supone, queda "impuesto" de manera bastante convincente por los datos de los experimentos.

Cuando se comprueba la "solidez" de ciertos principios y conceptos se descubre en algunos de ellos una "incompatibilidad" de contenido con el nuevo principio (o con los nuevos principios), es decir, se ve que no es legítimo utilizar esos principios, conceptos y representaciones conocidos al estructurar la nueva teoría. Por consiguiente, se han de eliminar y su puesto lo han de ocupar conceptos modificados o nuevos (hablando en general, incompatibles por su esencia con los eliminados). Una situación de esta naturaleza se produjo, por ejemplo, al formarse la teoría especial de la relatividad, cuando se expuso el principio de la constancia de la velocidad de la luz, principio que más tarde adquirió la certeza de "hecho experimental". La confrontación de este principio con las representaciones de la mecánica clásica exigió que se revisaran algunas de sus nociones fundamentales como las de "espacio", "tiempo" y "simultaneidad", lo cual llevó a que se excluyeran de la nueva teoría conceptos como los de "espacio absoluto" y "simultaneidad absoluta", y se sustituye-

(42) *A. Einstein*, "Colección de trabajos científicos", t. IV, pág. 214.

ran por nuevos conceptos que, en esencia, resultaron incompatibles con los indicados más arriba ("absolutos").

Una situación análoga se produjo al crearse la mecánica cuántica. El postulado cuántico introducido por Planck en 1900 (afirma el carácter discreto de la acción y de la energía) no podía considerarse generalización "inmediata" o "inductiva" de datos experimentales, mas permitió comprender teóricamente muchos fenómenos, motivo por el cual adquirió cada vez más el carácter de "certeza empírica". Al mismo tiempo se inició la revisión crítica de las nociones de la física clásica desde el punto de vista de su compatibilidad con el postulado cuántico. Esta revisión, que duró casi un cuarto de siglo, llevó a crear una nueva teoría, la mecánica cuántica, en la cual la afirmación del carácter discreto de la acción (de la existencia de la constante de Planck h) representa uno de los postulados de partida. En el período en que se creó la mecánica cuántica, la mayoría de los físicos mantenían la esperanza de que en una u otra medida el postulado cuántico podría hacerse compatible con ciertos conceptos de la mecánica clásica.

El momento crítico decisivo se produjo cuando primero N. Bohr y luego W. Heisenberg, M. Born y otros se dieron plena cuenta de que para crear una teoría eficaz (adecuada a la realidad) era indispensable revisar con espíritu crítico los principios y conceptos clásicos y renunciar a toda una serie de nociones clásicas (como las de "trayectoria", "órbita del electrón", etc.) las cuales, por ende, han de estimarse como inaplicables por principio a la nueva esfera (atómica) de fenómenos. La crítica y la revisión de conceptos tan corrientes como los de "longitud", "intervalo de tiempo", "simultaneidad" y otros llevadas a cabo por la teoría especial de la relatividad resultaron posibles sólo después de haberse formulado el principio de la limitación de la velocidad de la propagación de las interacciones (considerado como ley de la naturaleza). Correspondientemente, también las relaciones de indeterminación vinculadas al postulado cuántico y susceptibles de interpretarse como ley de la naturaleza, se convierten en punto de partida para la crítica de los conceptos existentes de la física clásica. Así como la ley de la constancia de la velocidad de la luz muestra el grado en que se alteran los conceptos clásicos de espacio y tiempo llevando a una interpretación, exenta de contradicciones, de un determinado grupo de experiencias, también las relaciones de indeterminación, subraya W. Heisenberg, "dan precisamente el grado de alteración de los conceptos clásicos indispensables para describir de manera no contradictoria los procesos atómicos"[43].

De esta suerte, viendo con qué lógica se han formado las teorías físicas más importantes del siglo XX, podemos expresar la idea de que existe un determinado principio metodológico que proporciona las reglas del tránsito de la vieja teoría a la nueva. Según este principio, son el experimento y los datos experimentales los que desempeñan el papel esencial en el proceso de la cognición física al formar

---

(43) *W. Heisenberg*. "Principios físicos de la teoría cuántica", Leningrado-Moscú, 1932, pág. 11.

nuevas teorías. Una teoría nueva no se crea en el vacío, sino que aparece siempre como desenvolvimiento, cambio o modificación de la teoría vieja, es decir, puede estimarse como el resultado de reestructurar la vieja teoría en concordancia con los nuevos datos experimentales. Mediante tal reestructuración, los principios y conceptos de la teoría vieja han de someterse a revisión crítica desde el punto de vista del nuevo experimento.

Se descubren los puntos débiles de la vieja teoría y se eliminan los elementos inadecuados al nuevo experimento comprobando la concordancia de los conceptos y afirmaciones de aquélla en lo que tienen de esencial con algunos nuevos conceptos y afirmaciones, que pueden estimarse como expresión concentrada de nuevos datos experimentales y que, según se supone, han de servir de base a la nueva teoría física. Los conceptos que de uno u otro modo se revelan como incompatibles con los nuevos conceptos y principios han de considerarse como de utilización indebida para describir la nueva esfera de fenómenos y se han de excluir de la teoría (no han de entrar en la teoría nueva). Su puesto lo ocupan los nuevos conceptos y afirmaciones, incompatibles con los conceptos eliminados. (Como es obvio, la denominación "inicio de la observabilidad de principio" no puede considerarse feliz, pues de lo que en esencia se trata es de las formas de reestructurar los sistemas teóricos, de las formas de reestructurar y elegir los conceptos adecuados [e inadecuados] de la teoría vieja, mientras que el enunciado de "observabilidad" o de "inobservabilidad" no es más que una peculiar manera de fijar el hecho de la correspondencia o la no correspondencia de los viejos o nuevos conceptos introducidos con los principios de la nueva teoría).

Correspondientemente, el principio de complementariedad de Bohr se refiere a objetos físicos cuya descripción teórica exige recurrir a conceptos, representaciones y sistemas de conceptos en esencia incompatibles (que se excluyen o se limitan recíprocamente); la legitimidad de cada uno de los medios de descripción indicados puede determinarse, en particular, por el tipo de las situaciones experimentales condicionadas a su vez por lo que tienen de específicas las condiciones del conocimiento. Mientras que el principio de la observabilidad puede considerarse como regla que regula el paso de la vieja teoría a la nueva y permite llevar a cabo la selección de los conceptos que resultan válidos en el nuevo dominio de fenómenos, el principio de complementariedad determina en líneas generales el instrumental de conceptos de las teorías de tipo "no-clásico", para las cuales es esencial la incompatibilidad de diversas normas experimentales, y ello exige que al describir teóricamente los fenómenos se tenga en cuenta el carácter concreto de los medios de investigación.

Al mismo tiempo, el principio de observabilidad y el de complementariedad se hallan íntimamente relacionados entre sí y expresan en formas distintas una de las leyes más generales del proceso del conocer según el cual todo concepto o sistema de conceptos tiene una esfera limitada de aplicabilidad, más allá de la cual el uso de la noción dada o del sistema de conceptos resulta ya ilícito y carece de

sentido. Dicho con otras palabras: no existen conceptos y sistemas de conceptos "absolutos", válidos para la investigación y la descripción teórica de fenómenos y esferas cualesquiera de la realidad; no existen conceptos que posean una esfera ilimitada de aplicabilidad. En las ciencias naturales a esta importante tesis de la teoría materialista dialéctica del conocimiento sólo se llegó, en esencia, en el siglo XX, y ello gracias a la creación de la física relativista y cuántica, en particular gracias a los trabajos de N. Bohr, quien señalaba infatigablemente el carácter limitado de la metodología de la física clásica, y el de las idealizaciones que se encuentran en la base de las teorías clásicas.

Según el principio de la complementariedad, los conceptos de que es necesario prescindir en una teoría no quedan simplemente desechados, sino que pueden seguir utilizándose en su esfera (inicial) de aplicabilidad; es más, pueden resultar necesarios en la descripción teórica del mismo objeto físico para cuya investigación ha sido preciso crear una nueva teoría exenta de viejos conceptos (así, por ejemplo, la mecánica cuántica contiene la mecánica clásica en calidad de su caso límite, y la primera necesita, para su fundamentación, los conceptos de la segunda; sin embargo, la mecánica clásica por sí misma no puede explicar las leyes cuánticas).

Vemos, por consiguiente, que la creación, el desarrollo y la manera de funcionar de los conceptos como determinado procedimiento para llegar al conocimiento de la realidad en la física teórica del siglo XX, como una de las formas más desarrolladas del saber teórico en general, constituyen una prueba convincente del carácter dialéctico de la naturaleza de los conceptos, de su flexibilidad y su multilateralidad, de la variedad infinita de sus formas de interconexión en los sistemas lógicos específicos y cerrados denominados teorías físicas. Ello demuestra una vez más cuán certera es la tesis marxista de que "el significado de lo *general* es contradictorio: es muerto, es impuro, es incompleto, etc., etc., pero también es un peldaño hacia el conocimiento de lo concreto, pues jamás llegaremos al conocimiento de lo concreto por completo. La suma *infinita* de los conceptos generales, de las leyes, etc., da lo *concreto* en su totalidad. El movimiento del conocimiento *hacia* el objeto sólo puede realizarse siempre dialécticamente: apartarse un poco para llegar con más seguridad..."(44)

(44) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 252.

B. M. KÉDROV
Académico

VLADÍMIR ILICH LENIN Y LA HISTORIA DE LAS CIENCIAS NATURALES

El tema "Lenin y la historia de las ciencias naturales" ofrece gran interés para el lector contemporáneo. Sin ser, Lenin, un historiador de dicha ciencia en el sentido habitual de la palabra, la historia de la ciencia que trata de la naturaleza ocupó un sensible lugar en sus trabajos. Lenin la relacionaba con problemas de carácter filosófico más amplio —metodológico e ideológico—, con el problema general de los vínculos entre la filosofía marxista y las ciencias naturales contemporáneas, problema que siempre atrajo su más viva atención. Desde este punto de vista, precisamente, intentaremos ante todo ver con qué criterio abordaba Lenin la historia de las ciencias naturales, qué importancia atribuía al estudio del desarrollo de dichas ciencias en función del ulterior avance de la dialéctica marxista.

La historia de las ciencias naturales como fuente de la elaboración creadora de la dialéctica marxista

Lenin consideraba la historia de las ciencias particulares de la naturaleza así como la de las ciencias naturales en su conjunto, lo mismo que la historia de toda la ciencia en general, como poderoso y vivificante hontanar para la elaboración creadora de la dialéctica materialista. Ésta, a juicio de Lenin, ha de enriquecerse con los resultados —filosóficamente interpretados y lógicamente elaborados y generalizados— de todo el desarrollo precedente de las ciencias de la naturaleza. Por lo visto, Lenin concibió ya esta idea al escribir su libro *Materialismo y empiriocriticismo*, en el que se expone por qué, según la dialéctica, es necesario ver el desenvolvimiento del conocimiento humano como paso del no saber al saber. En esta tesis está contenida la esencia de la visión dialéctica respecto a la historia de las ciencias naturales. Razonar dialécticamente en este terreno significa, al entender de Lenin, no suponer que nuestro conocimiento

es acabado e invariable, sino examinar de qué manera del no saber aparece el saber, de qué manera el conocimiento incompleto e inexacto se hace más completo y más exacto.

Sirve de primera respuesta a la pregunta de cómo sucede esto, la idea de Lenin sobre los grados del saber. En el libro *Materialismo y empiriocriticismo* estos grados se examinan ante todo en su expresión concreta (átomo y electrón o mecánica clásica y nueva física). Más tarde, en *Cuadernos filosóficos*, encontramos una generalización más amplia.

Al analizar la construcción de *La Ciencia de la lógica* de Hegel, Lenin determina ante todo el papel y el lugar de la historia de la ciencia respecto a la dialéctica. *La Ciencia de la lógica*, como es notorio, posee la estructura siguiente: doctrina del ser, doctrina de la esencia y doctrina del concepto. Apoyándose en la historia de la ciencia y su generalización filosófica, Lenin descubre e interpreta de manera materialista el sentido racional de esta división. Anota: "El concepto (cognición) en el ser (en los fenómenos inmediatos) descubre la esencia (ley de la causa, de la identidad, de la diferencia, etc.): tal es el curso general de todo el conocimiento humano (de toda ciencia) en general. Éste es el curso tanto de las ciencias naturales como de la economía política [y de la historia]. La dialéctica de Hegel es, EN LA MISMA MEDIDA, una generalización de la historia del pensamiento. Observarlo de manera más concreta y más detenidamente en la *historia de las ciencias tomadas por separado* ha de ser un trabajo en extremo prometedor. En lógica, la historia del pensamiento TIENE QUE coincidir, en líneas generales, con las leyes del pensar"(1).

Acto seguido Lenin pormenoriza esta tesis general y señala algunos grados concretos por los que avanza el pensamiento humano moviéndose de los fenómenos a la esencia. "En un principio, *centellean* unas impresiones, luego se destaca *algo*, después se desarrollan los conceptos de *cualidad*... (determinación de la cosa o del fenómeno) y de *cantidad*. A continuación el estudio y las meditaciones dirigen el pensamiento hacia el conocimiento de la identidad — de la diferencia — de la base — de la esencia *versus* fenómeno, — de la causalidad, etc. Todos estos momentos (pasos, grados, procesos) del conocer van del sujeto al objeto, se comprueban en la práctica y llegan, a través de esta comprobación, a la verdad (= a la idea absoluta)"(2).

La generalización dialéctica y la historia elaborada de las ciencias naturales, incluyendo la historia de sus diversas ramas, ha de servir, según la idea de Lenin, para aclarar y fundamentar no ya en el marco de una ciencia aparte, sino a escala de todo el conocer humano, cuáles son los grados sucesivos por los que pasa el conocimiento humano en el caso general y, por ende, cualquier ciencia.

Desde este punto de vista general, sirven como grados del movi-

---

(1) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 298.
(2) *Ibíd.*, pág. 301.

miento de la cognición científica las categorías de la lógica, las categorías de la dialéctica. Lenin explica como sigue esta idea. El hombre se encuentra ante una red de fenómenos naturales. El hombre instintivo, el salvaje, no se destaca a sí mismo de la naturaleza, pero el hombre consciente lo hace, con la particularidad de que las categorías son los grados de esta separación, es decir, del conocimiento del mundo, puntos esenciales en la red que permiten conocerla y dominarla.

Este planteamiento del problema señala en seguida el inmenso papel que debe pertenecer a la historia de la ciencia cuando se elaboran las categorías de la dialéctica y también, con ello, cuando se elabora el propio sistema de toda la dialéctica. Al hablar de la lógica dialéctica, Lenin hace hincapié precisamente en esta tesis central: la lógica (la dialéctica) ha de inferirse de la historia del conocimiento del mundo y, por consiguiente, de la historia de la ciencia. La lógica no es una doctrina sobre las formas externas del pensar, sino sobre las leyes del desenvolvimiento de todo el contenido concreto del mundo y de su conocimiento. Dicho de otro modo: la lógica es un resultado, una suma, una inferencia de la historia de la cognición del mundo.

Esta es la razón de que en numerosos lugares de los *Cuadernos filosóficos* y en las más diversas conexiones, Lenin vuelva a la idea de que es necesario elaborar, generalizar y recapitular la historia de la ciencia, incluida la historia de las ciencias naturales, desde las posiciones de la dialéctica. Habla de esta labor a los marxistas como una de las más importantes y urgentes. Todos conocemos los tristes acontecimientos que a partir de los años 30 hasta comienzos de los años 50 impidieron cumplir este precepto de Lenin. Ello no obstante, el objetivo señalado por Lenin no sólo no ha perdido hoy su inmenso valor teórico, sino que aún lo ha acrecentado dadas las tentativas que se llevan a cabo para elaborar un sistema de categorías de la dialéctica y, con ello, el sistema de la propia dialéctica como ciencia. Para ello, sin embargo, es indispensable estudiar desde todos los puntos de vista y de manera profunda la correlación de lo histórico y lo lógico en el plano que señalaba Lenin cuando hablaba de la elaboración dialéctica de la historia de la ciencia. Lo que se necesita, insistía Lenin, es investigar la historia del pensamiento desde el punto de vista del desarrollo y de la aplicación de los conceptos generales y de las categorías de la lógica.

De la extraordinaria trascendencia que atribuía a dicho problema dan idea estas palabras suyas: "La continuación de la obra de Hegel y de Marx ha de consistir en elaborar dialécticamente la historia del pensamiento humano, de la ciencia y de la técnica"(3).

Lenin elevó esa cuestión a una altura de principio. Y es perfectamente comprensible si se tiene en cuenta que en la generalización dialéctica de la historia de la ciencia veía Lenin la manera concreta de formar la teoría general de la dialéctica marxista como arma re-

(3) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 131.

volucionaria del proletariado en vísperas de su revolución. Lenin, a la vez que planteaba el problema en términos generales a los marxistas, procuraba concretarlo dondequiera que fuese posible. Así, al analizar la categoría de substancia y lo que representa para ahondar en el conocimiento de la materia, advertía que había que recurrir a ejemplos de dos tipos: en primer lugar, a ejemplos de la historia de las ciencias naturales y, en segundo lugar, a ejemplos de la historia de la filosofía. Pero acto seguido puntualizaba: no son "ejemplos" lo que se ha de aducir aquí, pues la comparación no es una demostración, sino que se ha de presentar la *quintaesencia* de tal y cual historia, así como también de la historia de la técnica.

Lo mismo hallamos en otro lugar que hace referencia a la historia del conocimiento de la conexión universal de los fenómenos del mundo. "Han transcurrido miles de años desde que surgió la idea de la «conexión de todo», de la «cadena de causas». La comparación de cómo se han entendido tales causas en la historia de las ideas humanas proporcionaría a la teoría del conocimiento una demostración indiscutible"(4). Esto atañe asimismo a la teoría de la unidad de los contrarios. Al hablar de que la división de lo singular y el conocimiento de las partes opuestas constituyen la esencia de la dialéctica, Lenin exige: "La exactitud de esta parte del contenido de la dialéctica tiene que comprobarse mediante la historia de la ciencia"(5). Deseosos de cumplir esta indicación precisa, un grupo de filósofos y de historiadores de las ciencias naturales y de la técnica han intentado poner de manifiesto la exactitud de la parte (o esencia) de la dialéctica en el sentido señalado por Lenin. Con este fin han escrito el trabajo colectivo titulado *Las contradicciones en el desarrollo de las ciencias naturales*(6).

Más de una vez se había planteado la cuestión: ¿quién ha de cumplir la tarea señalada por Lenin a los marxistas en lo tocante a la elaboración dialéctica de la historia de las ciencias naturales, los filósofos o los historiadores de dichas ciencias? Los primeros por sí mismos no se hallaban en condiciones de llevar a feliz término la empresa, dado que para ello se requieren amplios conocimientos sobre la historia de cada una de las ciencias naturales y de todas ellas en conjunto, conocimientos de que los filósofos carecen salvo muy raras excepciones. Los historiadores de las ciencias naturales, a su vez —en particular los que mantienen una orientación empírica y descriptiva en el terreno de las investigaciones de la historia de las ciencias— no son competentes en el dominio de la filosofía. Resulta, pues, que por separado ni unos ni otros pueden cumplir la tarea señalada. Se requiere para ello una unión íntima entre filósofos e historiadores de las ciencias naturales, una fecunda ayuda mutua entre unos y otros, tal como preceptuó Lenin refiriéndose a la unión que debía existir entre los filósofos y los naturalistas contemporá-

---

(4) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 311.

(5) *Ibíd.*, pág. 316.

(6) Ver "Las contradicciones en el desarrollo de las ciencias naturales", Moscú, 1965.

neos. Únicamente si existe un contacto práctico y creador de esta naturaleza cabe esperar que se alcance con pleno éxito el objetivo señalado por Lenin.

Vemos, por tanto, que a lo largo de todos los *Cuadernos filosóficos* se destaca la idea de que el desenvolvimiento de la dialéctica y su sistematización han de llevarse a cabo mediante la elaboración filosófica de la historia de la ciencia. Es muy comprensible, por ende, que cuando Lenin empezó a concretar las esferas del saber cuya elaboración filosófica constituye el fundamento de la teoría del conocimiento y de la dialéctica, situara en primer lugar (después de la historia de la filosofía) la historia de las ciencias particulares incluyendo, desde luego, las ciencias naturales. De este modo veía Lenin la elaboración de la dialéctica marxista partiendo de la generalización lógica y la elaboración de la historia de la ciencia.

La historia de las ciencias naturales y nuestra época

En sus trabajos filosóficos, Lenin, como vemos, recurría constantemente a la historia de las ciencias naturales y de sus ramas, aduciendo en calidad de argumentos indiscutibles contra el idealismo y el agnosticismo datos de la física, de la química, de la biología, de la geología y de otras ciencias. Además, veía las ciencias naturales contemporáneas en indisoluble conexión con su historia, a la que tomaba siempre, a su vez, en el aspecto de su contemporaneidad. Al confrontar el pasado con el presente, Lenin descubría las tendencias del desenvolvimiento de las ideas científico-naturales en cualquiera de sus etapas. De este modo se descubría no sólo aquello que por principio era nuevo y resultaba inherente a las ciencias naturales de la época de Lenin, sino que, además, se lograba encontrar en el pasado del conocimiento científico, los gérmenes de las ideas contemporáneas, y respuestas a preguntas que, al parecer, sólo se planteaban a los científicos de nuestra época. La historia de la ciencia de la naturaleza demuestra que el hombre había pugnado ya antes por resolver los problemas aludidos, con la particularidad —y esto es lo más importante— de que en el pasado más de una vez se les había ya dado una solución acertada.

Ahora bien, como quiera que los descubrimientos de las ciencias naturales aportan siempre nuevos datos, los problemas que en consecuencia se plantean siempre parecen insólitos, necesitados de un examen distinto. Esto es cierto. Pero al mismo tiempo resulta que, a raíz de los últimos descubrimientos científicos, surgen a cada paso viejas cuestiones filosóficas tan solo un poco modificadas en consonancia con los nuevos datos de las ciencias.

En *Materialismo y empiriocriticismo*, Lenin examinó desde todos los puntos de vista de qué manera, en la época del imperialismo y de las revoluciones proletarias, la filosofía reaccionaria utilizaba la "novísima revolución en las ciencias naturales" en pro del idealismo y del agnosticismo, lo cual provocó la crisis de la física contemporánea y de todas las ciencias naturales. "A consecuencia de sus des-

cubrimientos de nuevas variedades de la materia y nuevas formas de movimiento de ésta —escribió Lenin—, la nueva física, con motivo del derrumbamiento de las viejas nociones físicas, ha planteado los viejos problemas de la filosofía"[7].

Situaciones análogas se habían producido ya antes en esferas particulares de las ciencias naturales, como lo atestigua la historia de la ciencia, mas siempre culminaban de la misma manera: con la derrota del idealismo y la victoria del materialismo. Lenin aduce hechos que así lo corroboran. Al introducir el término de idealismo "físico" recordó un episodio de la historia de la filosofía y de la ciencia natural: en 1866 Ludwig Feuerbach incluyó al fisiólogo J. Müller entre los idealistas "fisiológicos". Al estudiar el "mecanismo" de nuestros órganos de los sentidos en relación con las sensaciones (indicando, por ejemplo, que la sensación de la luz surge a raíz de estímulos diferentes en el ojo), Müller se inclinaba a negar, fundándose en tales observaciones, que nuestras sensaciones sean imágenes de la realidad objetiva. "Que una serie de grandes fisiólogos hayan estado en aquella época *inclinados* al idealismo y al kantismo, es tan indudable como la *inclinación* hacia el idealismo filosófico manifestada en nuestros días por una serie de físicos eminentes. El idealismo «físico» o sea el idealismo de cierta escuela de físicos de fines del siglo XIX y principios del XX, «refuta» tan poco el materialismo y demuestra asimismo tan poco la ligazón entre el idealismo (o empiriocriticismo) y las ciencias naturales como lo hicieron en otro tiempo, con análogos esfuerzos, ...los idealistas «fisiológicos». La desviación hacia la filosofía reaccionaria que en estos dos casos se ha manifestado en una sola escuela naturalista de una sola rama de las ciencias naturales, es un zigzag temporal, un pasajero período doloroso en la historia de la ciencia, una enfermedad de crecimiento, debida sobre todo al *trastorno brusco* de las viejas nociones tradicionales"[8].

En Lenin, esta confrontación de contemporaneidad con el pasado próximo en el desarrollo de las ciencias no presenta el carácter de una analogía externa, sino que se basa en el descubrimiento de una ley profunda: el idealismo carece de suelo nutricio en las ciencias naturales, por su propia esencia es extraño y hostil a dicha ciencia, la cual, a su vez, en sus fuentes es radicalmente materialista. De ahí que sólo una parte insignificante de los científicos y sólo por un tiempo más o menos breve, puede caer bajo el influjo de la filosofía reaccionaria. Durante el ulterior progreso del conocimiento científico se pone en claro la total inconsistencia de la interpretación idealista de los novísimos descubrimientos en las ciencias naturales y se reafirma la concepción materialista en su interpretación, pues únicamente dicha interpretación responde a la esencia de los descubrimientos, a

---

(7) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 295. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., págs. 309-310).

(8) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 323. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 340).

su naturaleza, a su carácter. Lenin toma la historia de la ciencia para hacer patente esta tendencia, que es una ley.

Cuando a últimos del pasado siglo y comienzos del actual Ostwald creó su "energética", Lenin demostró que en el fondo se trataba de una tentativa de concebir el movimiento sin materia. También en el pasado se negó que hubiera un portador material del movimiento. Lenin se remite a J. Dietzgen, quien criticó a los naturalistas idealistas que creían en la existencia no material de las fuerzas y los llamaba visionarios. El fin de tales creencias es bien conocido: los visionarios quedaron derrotados en toda la línea y el materialismo triunfó por completo.

Lenin demostró que a la ulterior evolución filosófica de Ostwald y su "energética" se le abrían dos caminos opuestos: el del materialismo, al que conducen inexorablemente a los naturalistas la lógica y el decurso de los mismos descubrimientos científicos, o el del idealismo, hacia el que les empuja su filosofía reaccionaria, intrínsecamente extraña a la ciencia. En estas condiciones, quedarse en algún punto intermedio es imposible. Y esto era, precisamente, lo que intentaba Ostwald al querer reconciliar las dos corrientes filosóficas básicas y mantenerse por encima de ellas.

Un notable acontecimiento, que vamos a referir acto seguido, pone de manifiesto la profundidad y el acierto con que Lenin supo captar la tendencia histórica del desarrollo de las ciencias naturales en general así como en particular por lo que respecta a Ostwald y a su "energética": el mismo año en que Lenin escribió *Materialismo y empiriocriticismo,* Ostwald declaró públicamente que había sido derrotado en la lucha contra el materialismo científico y la atomística en tanto que plasmación concreta del mismo, y reconoció abiertamente la realidad de los átomos, de las moléculas y de otras partículas de la materia. De esta manera, sin gloria alguna, acabó la tentativa de aquel momento encaminada a "impugnar" el materialismo con referencias a las ciencias naturales, en el caso dado, a la física energética. Situaciones análogas se han producido también posteriormente, con la particularidad de que el enfoque leninista de su análisis ha permitido invariablemente hallar una salida justa a la situación creada.

Nuestra generación ha sido testigo de cómo, durante largo tiempo, una concepción profundamente materialista, con sus raíces en la atomística de la física y de la química, se ha visto categóricamente rechazada cuando se trataba de utilizarla para explicar propiedades de los seres vivos como la herencia, y hasta se calificaba de... ¡idealista y mística! Mas, la historia de la ciencia nos dice que el materialismo es invencible, incluso si se le cuelgan las etiquetas de idealismo y escolasticismo; también en este caso era de esperar la derrota total de sus adversarios. Y así ha sucedido. Sin embargo, a diferencia de Ostwald, quien tuvo la valentía del verdadero científico y reconoció públicamente su error, los actuales enemigos de la concepción materialista, que explica en función de la atomística la propiedad de la herencia en los seres vivos, han preferido eludir medrosamente el franco reconocimiento de su derrota.

De este modo la historia de la ciencia y su análisis filosófico permiten comprender más profundamente nuestra época, ver las ocultas tendencias que en ella anidan sobre el desarrollo del conocimiento científico.

La idea de los jalones en el desarrollo de las ciencias naturales

El problema de la correlación de la historia de la ciencia con la época actual aparece en Lenin de manera concreta en la idea de los jalones en la historia de las ciencias de la naturaleza. En la base de esta idea se encuentra la concepción general sobre la verdad objetiva, absoluta y relativa, concepción según la cual la verdad absoluta se va formando grano a grano por la suma de verdades relativas. Toda verdad relativa más profunda o más completa alcanzada por la humanidad constituye un nuevo jalón en el desarrollo de la ciencia, en el avance del conocimiento por el camino que conduce a la verdad absoluta.

Desde este punto de vista, Lenin compara la fase (entonces ya recorrida) del conocimiento científico en que la humanidad llegó al descubrimiento de los átomos con la otra (que entonces sólo se iniciaba) en que se llegó al descubrimiento de los electrones como parte componente de los átomos. Ahora bien, semejantes grados de penetración en la esencia de las cosas son relativos y transitorios. No son más que jalones en el camino sin fin del movimiento de la ciencia hacia la verdad absoluta. "La «esencia» de las cosas o su «substancia» *también* son relativas —subrayaba Lenin—; no expresan más que la profundización del conocimiento que el hombre tiene de los objetos, y si esta profundización no fue ayer más allá del átomo y hoy no pasa del electrón o del éter, el materialismo dialéctico insiste empero en el carácter temporal, relativo, aproximado, de todos esos *jalones* del conocimiento de la naturaleza por la ciencia humana en progreso. El electrón es tan *inagotable* como el átomo, la naturaleza es infinita..." [9]. O sea que el materialismo dialéctico insiste en el carácter aproximado, relativo, de todo principio científico acerca de la estructura de la materia y de sus propiedades.

En los *Cuadernos filosóficos* Lenin prosiguió la exposición de esta idea con el ejemplo del estudio comparado de los átomos y de los electrones; unos y otros representaban hitos sucesivos en el progreso de la ciencia y expresaban, entonces, los límites precedente y actual de cuanto se sabía acerca de la estructura de la materia. Lenin expone y reelabora con espíritu crítico y según los principios marxistas la dialéctica hegeliana, en particular la tesis sobre la correlación de lo finito y lo infinito, y apoyándose en los datos que le proporciona la ciencia natural, afirma: los átomos y los electrones son momentos individuales (finitos), o jalones, en el camino infinito del conocimiento de la materia por parte del hombre, camino infinito

---

(9) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 277. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 290).

porque la propia materia es infinita en profundidad. Ningún conocimiento a que lleguemos sobre la estructura de la materia puede presentarse como completo, definitivo, exhaustivo, metafísicamente elevado al rango de verdad absoluta, de "verdad en última instancia". Ni los átomos, ni los electrones, ni otras especies cualesquiera de la materia agotan por sí mismas a toda ella, no son los ladrillos primarios del edificio universal. Si, a pesar de todo, se acepta que, digamos, los átomos constituyen tales partículas iniciales, de ello se siguen inevitablemente serios errores que pueden convertirse en fuente gnoseológica de conclusiones idealistas por los éxitos de la ciencia. Así sucedió realmente. Hasta finales del siglo pasado, los átomos se consideraban como las partículas últimas de la materia, y en consecuencia, ésta se concebía como un conglomerado de átomos. Cuando se vio, no obstante, que los átomos son complejos y que constan de electrones (partículas que poseen una carga eléctrica negativa), se infirió de este hecho la absurda conclusión de que la materia es agotable y se "redujo" a la electricidad. He aquí por qué la idea de los jalones en el camino por el que avanza el hombre en el infinito conocimiento de la naturaleza representa, a la vez, un antídoto contra las veleidades idealistas. "A la electricidad se la declara colaboradora del idealismo, porque ha destruido la vieja teoría de la estructura de la materia —escribe Lenin—, ha descompuesto el átomo, ha descubierto nuevas formas de movimiento material, tan diferentes de las antiguas, tan poco investigadas aún, tan poco estudiadas, tan extraordinarias, tan «prodigiosas», que se hace posible introducir subrepticiamente una interpretación de la naturaleza, considerándola como movimiento no material (espiritual, mental, psíquico). Lo que ayer era el límite de nuestro conocimiento de las partículas infinitamente pequeñas de la materia ha desaparecido; por consiguiente, concluye el filósofo idealista, ha desaparecido la materia (pero el pensamiento perdura)" [10].

Lenin comparó diversos jalones o grados en el desarrollo de la ciencia y, correspondientemente, las imágenes del mundo que en tales grados se idearon no sólo en relación con los átomos y los electrones, sino, además, en un plano más vasto. Refiriéndose a la manera de comprender el carácter del movimiento de los cuerpos físicos en la vieja física y en la nueva, escribió: "...la mecánica era una reproducción de los movimientos lentos reales, mientras que la nueva física es una reproducción de los movimientos reales que tienen lugar en velocidades prodigiosas. El materialismo consiste precisamente en admitir que la teoría es una reproducción, una copia aproximada de la realidad objetiva" [11]. ¡Cuán precisa es esta caracterización comparativa de dos jalones en el desarrollo de la física: de la vieja física (de la mecánica clásica) y de la nueva física, especialmente si se com-

---

(10) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 300. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., págs. 314-315).

(11) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, págs. 280-281. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 293).

paran la teoría de la relatividad de Einstein y la mecánica de Newton! Una y otra son profundamente materialistas, una y otra son en verdad tan solo jalones en el progreso de la ciencia, constituyendo verdades relativas, con la diferencia de que la verdad relativa contenida en la teoría de Einstein es mucho más completa y profunda —y por ende mucho más próxima a la verdad absoluta— que la contenida en la mecánica de Newton.

Cuando los idealistas intentaban atribuir al materialismo un punto de vista vulgar según el cual se reconoce tan solo la imagen mecánica del mundo, Lenin rechazó categóricamente tal afirmación. "Desde luego, es completamente absurdo decir que el materialismo tenga por «menor» la realidad de la conciencia o afirme como obligatorio el cuadro mecánico y no el electromagnético, ni cualquier otro cuadro infinitamente más complejo del mundo, como *materia en movimiento*" [12]. Este "cuadro infinitamente más complejo del mundo" lo elaboró más tarde la física contemporánea y lo denominó imagen mecánico-cuántica de los microprocesos. Actualmente se está formando una imagen todavía más compleja que tiene por fundamento la penetración en el seno del núcleo atómico y todavía más allá: en el seno de las partículas elementales.

En la historia de la ciencia, los jalones representan virajes en su desenvolvimiento ascendente. Esto permite plantear y resolver, partiendo del propio movimiento de la ciencia, el problema de la división de su historia en períodos. Todo nuevo período en su desarrollo significa un cambio radical en la concepción entera de la ciencia dada y de las nociones fundamentales que le corresponden, una ruptura a fondo de sus viejos principios y leyes (en el sentido de la formulación de las leyes), conceptos, teorías y representaciones. Y es esta ruptura brusca y radical de los conceptos lo que constituye, según Lenin, la revolución en las ciencias naturales.

Lenin cita, al respecto, una interesante manifestación del positivista A. Rey (al que llama "conciliador", pues Rey intentaba conciliar el materialismo con el idealismo): "Pueden distinguirse en la historia de la física, como en cualquier historia, grandes períodos que se diferencian por la forma y por el aspecto general de las teorías... Pero llega uno de esos descubrimientos que repercute en todas las partes de la física, porque despeja un hecho capital hasta entonces mal o muy parcialmente conocido, y el aspecto de la física se modifica; empieza un nuevo período. Eso es lo que ha sucedido después de los descubrimientos de Newton, después de los descubrimientos de Joule-Mayer y Carnot-Clausius. Eso es lo que parece en vías de producirse desde el descubrimiento de la radioactividad..." [13] No hace mucho, T. Kuhn, historiador norteamericano de la ciencia, expuso una idea análoga en un libro consagrado a la estructura de las revoluciones en la ciencia. Explicó que el desarrollo de la ciencia se pro-

---

(12) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 296. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., págs. 310-311).

(13) Citado según *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 323. ("Materialismo y empiriocriticismo", págs. 340-341).

duce mediante rupturas bruscas (es decir, cambios revolucionarios), entre cuyos intervalos se dan, según la terminología de Kuhn, "paradigmas"; durante la vigencia de un "paradigma" el proceso de desarrollo se realiza en el marco de representaciones ya formadas, hasta que tales representaciones se agotan y mediante su ruptura radical, la ciencia, en su avance y por vía revolucionaria llega a establecer el siguiente "paradigma".

De hecho, Kuhn presenta la tesis, expuesta y mantenida hace tiempo ya en la dialéctica materialista, de que el proceso cognoscitivo se efectúa mediante el cambio constante de estadios revolucionarios y evolutivos de desarrollo, mediante el tránsito permanente de un grado o jalón del saber a otro, camino sin fin del movimiento de la ciencia hacia la verdad absoluta. Lo único nuevo en Kuhn es la terminología.

Vemos, pues, que en Lenin el problema de los jalones en la vía del conocimiento de la materia y de sus características comparadas se halla indisolublemente vinculado al análisis de la historia de la ciencia y a la confrontación de la ciencia del pasado con la del presente.

El método de la elaboración dialéctica de la historia de las ciencias naturales

Hasta ahora hemos hablado de la elaboración dialéctica y de la generalización lógica de la historia de las ciencias naturales refiriéndonos al contenido del problema. Pero surge una cuestión: ¿qué método se ha de seguir para plantear y resolver los problemas de ese tipo? ¿Cómo ha de iniciarse la investigación? Hay que establecer los hechos y luego elaborarlos, responden unos investigadores. Primero hay que constituir un esquema lógico de partida y después abordar los hechos, responden otros.

El problema de cómo empezar la investigación, de su punto de partida, es esencial para los historiadores contemporáneos de las ciencias naturales. Y ello no sólo en el sentido de que deben elaborar un determinado método de investigación histórico-científico, sino, además, en el sentido de valorar con acierto la etapa primera de toda ciencia, incluida cualquier rama de las ciencias naturales. Sobre este particular hallamos admirables ideas en el trabajo de Lenin *¿Quiénes son los "amigos del pueblo" y cómo luchan contra los socialdemócratas?*

Trata Lenin de la crítica que hace de los trabajos de Marx el ideólogo del populismo Mijailovski, y planteando un problema de enorme significado metodológico general, escribe: "Pero lo más curioso de todo es que el señor Mijailovski acusa a Marx de no haber «revisado (¡sic!) todas las teorías conocidas del proceso histórico»... Porque, ¿en qué han consistido, en sus 9/10 partes, estas teorías? ¿En ideaciones abstractas, puramente apriorísticas y dogmáticas acerca de qué es la sociedad y qué es el progreso?, etc... Porque semejantes teorías... son inservibles por su método fundamental, por su carácter total e irremisiblemente metafísico [14]. ¿Por qué empezar con las

(14) Lenin en este pasaje y en los que siguen en el trabajo citado entiende la metafísica en el sentido de especulación pura. B. K.

cuestiones de qué es la sociedad y qué es el progreso? Esto significa empezar por el fin. ¿De dónde toma usted el concepto de sociedad y de progreso en general si no ha estudiado aún ni siquiera una sola formación social en particular, no ha sabido ni siquiera definir este concepto, ni ha sabido siquiera aproximarse al estudio serio de los hechos, al análisis objetivo de unas relaciones sociales, cualesquiera que fuesen?" (15). Así planteaba Lenin el problema.

Como si previera la posibilidad de tales discrepancias de carácter metodológico entre los investigadores contemporáneos de la ciencia, Lenin señalaba como rasgo común a la etapa inicial de toda ciencia el tender a las construcciones especulativas que se anticipaban a la investigación concreta de los hechos y hasta se consideraban como substituto de la misma. "Éste es el indicio más evidente de la metafísica en que ha empezado toda ciencia: mientras no hemos sabido emprender el estudio de los hechos, siempre hemos inventado a priori teorías generales, estériles siempre. El químico-metafísico, sin saber investigar aún los procesos realmente químicos, ideaba una teoría acerca de qué tipo de fuerza es la afinidad química. El biólogo-metafísico hacía cábalas acerca de qué es la vida y la fuerza vital. El psicólogo-metafísico razonaba acerca de qué es el alma. En todo ello ya era absurdo el procedimiento. No es posible razonar acerca del alma sin haber explicado en particular los procesos psíquicos: en este caso, el progreso debe consistir precisamente en desechar las teorías generales y las elucubraciones filosóficas en torno a lo que es el alma y saber organizar en el terreno científico el estudio de los hechos que caracterizan determinados procesos psíquicos. De ahí que el reproche del señor Mijailovski es absolutamente igual al de un psicólogo-metafísico que habiendo consagrado toda la vida a escribir «investigaciones» sobre la cuestión de qué es el alma (sin saber con exactitud cómo se explica ningún fenómeno psíquico, ni siquiera el más simple) se dedicara a acusar a un psicólogo científico de no haber examinado todas las teorías conocidas acerca del alma. Este psicólogo científico deja de lado las teorías filosóficas sobre el alma y se pone a estudiar directamente el substrato material de los fenómenos psíquicos, los procesos nerviosos..." (16)

La exigencia de iniciar la investigación científica por el análisis de los hechos y no por las especulaciones filosóficas, se combina, en Lenin, con la de analizar en concreto los fenómenos que se estudian. La verdad abstracta no existe, la verdad siempre es concreta. Lenin observa en todas partes, y también, como es lógico, en lo que concierne a la investigación histórica, esa tesis del método dialéctico marxista. Ve el alma del marxismo en el análisis concreto de las situaciones concretas. Por este motivo situaba en tan alto lugar *El Capital*, de Marx, al referirse a dicha obra desde el punto de vista metodológico. "El gigantesco paso adelante que en este sentido dio Marx —escribió Lenin— consistía, precisamente, en haber rechazado

---

(15) *V. I. Lenin*, "Obras", t. I, pág. 141.
(16) *V. I. Lenin*, "Obras", t. I, págs. 141-142

todos esos razonamientos acerca de la sociedad y del progreso en general y haber presentado, en cambio, el análisis *científico* de *una* sociedad y de *un* progreso, el capitalista. ¡Y el señor Mijailovski le acusa de haber comenzado por el principio y no por el final, por el análisis de los hechos y no por las conclusiones últimas, por el estudio de relaciones sociales particulares, históricamente determinadas, y no por teorías generales acerca de en qué consisten esas relaciones sociales en general!" (17)

De lo dicho se desprende con claridad y precisión la respuesta a la pregunta de con qué es necesario dar comienzo a toda investigación, incluida la investigación científica de carácter histórico, en qué consiste la esencia del método científico aplicable en cualquier esfera del conocimiento de la ciencia. Lenin rechaza categóricamnte como no científico el procedimiento según el cual lo primero que se hace es formar un esquema lógico a priori, que se anticipa a la investigación concreta de los hechos o incluso con el que se sustituye tal investigación. En este caso, lo que ocurre en la práctica es que se adaptan, simplemente, los hechos al esquema lógico compuesto de antemano. La ocupación es totalmente estéril, y un investigador serio no debe perder en ella ni tiempo ni energías.

El método —basado en los principios leninistas— de la elaboración dialéctica de la historia de las ciencias naturales presupone que las tesis generales no se anticipan a la investigación concreta a modo de esquemas preparados, sino que se infieren de los datos concernientes a la historia real de dicha ciencia mediante la generalización lógica de los mismos y su explicación teórica. En este campo, lo concreto del proceder consiste en que, como indicaba Lenin, la elaboración dialéctica y la generalización tienen su asiento en la historia precisamente de ciencias concretas, y en que la coincidencia de lo lógico y lo histórico no puede reducirse a una declaración, sino que se ha de observar de manera concreta y detallada en la historia de las diversas ciencias.

Las manifestaciones de Lenin expuestas más arriba también son importantes, además, porque en ellas se caracteriza en el aspecto metodológico la etapa inicial, en esencia precientífica, del nacimiento de toda rama del saber. En el estudio de la naturaleza, fue la filosofía naturalista la que desempeñó el papel de dicha etapa. Pero hace ya tiempo que dio de sí cuanto podía dar y volver a ella en cualquiera de sus aspectos significaría, actualmente, arrastrar la ciencia hacia atrás, hacia su fase precientífica.

El paso del conocimiento de los fenómenos a la esencia y la historia real de las ciencias naturales

Las ideas de Lenin más arriba expuestas acerca de los jalones en la historia del conocimiento de la naturaleza y acerca de las cate-

---

(17) *Ibíd.*, pág. 143.

gorías de la dialéctica como grados lógicamente generalizados del progreso de la ciencia, incluidas las ciencias naturales, nos ayudan a comprender el curso general de la evolución histórica de estas últimas. Por tanto, descubrir la correlación dialéctica entre lo histórico y lo lógico es tan importante para elaborar la dialéctica como para elaborar la historia de las ciencias naturales. Por otra parte, y así lo hemos demostrado ya en las páginas anteriores, al realizar una investigación científica e histórica no cabe hablar siquiera de establecer de antemano algún esquema lógico que se pueda aplicar mecánicamente a cualquier caso particular. Al contrario, sólo se puede y se debe hablar, al respecto, de inferir conclusiones lógicas del análisis concreto que se haga sobre la historia de las ciencias naturales.

Si comparamos el orden en que se hallan situadas las categorías de la dialéctica en calidad de grados lógicamente generalizados del conocimiento tal como vemos en los *Cuadernos filosóficos* de Lenin con la evolución real de las ciencias naturales, debemos tener en cuenta una serie de circunstancias. En primer lugar recordaremos en todo momento que no pueden examinarse aisladamente una o varias de las tesis contenidas en los *Cuadernos filosóficos*, sino que han de tomarse en su conjunto. Esto es necesario porque algunas tesis de Lenin que atañen a la correlación de lo histórico y lo lógico pueden parecer contradictorias si se separan del contexto de sus declaraciones sobre la cuestión dada tomadas en su conjunto, en su conexión interna.

A nuestro entender, sería igualmente erróneo empeñarse en ver en la historia de cada una de las ciencias naturales una rigurosa secuencia lógica de suerte que en un grado de su desarrollo únicamente se forma una categoría dada, que desplaza por entero todas las categorías surgidas antes y excluye la posibilidad de que nazcan categorías posteriores, expresión de un grado de desarrollo más elevado de la misma ciencia. En la realidad auténtica, las diversas categorías se entrecruzan unas con otras, se influyen mutuamente, de suerte que resulta imposible hallar en ninguna de las etapas de la historia de la ciencia una categoría cualquiera en su aspecto puro. Ahora bien, en la lógica no sólo es posible, sino que es incluso necesario proceder de este modo. Es precisamente la lógica, despojando de todas las circunstancias accesorias el curso que realmente sigue la evolución del conocimiento científico, la que descubre la secuencia interna de los grados por los que pasan las ciencias naturales tomados en su aspecto puro, y presenta dicha secuencia interna como necesidad lógica de la evolución del pensamiento científico.

Veamos ahora algunas cuestiones particulares. La tesis leninista indica que uno de los elementos de la dialéctica radica en el movimiento del saber humano que va del fenómeno a la esencia, y de una esencia menos profunda a otra cada vez más y más profunda. Como dice el propio Lenin en otro lugar de los *Cuadernos filosóficos*: "El pensamiento del hombre va profundizando infinitamente del fenómeno a la esencia, de la esencia, digamos, de primer grado, a la esencia

de segundo grado, y así *sin fin*" [18]. Esta tesis, aplicada a la historia real de la ciencia, plantea una serie de problemas.

Primer problema: ¿significa esto que la evolución de toda ciencia comienza siempre con la observación empírica de los fenómenos, sin que se haga tentativa alguna de penetrar en su esencia mientras dichos fenómenos no se hallen suficientemente estudiados para que el conocimiento pueda pasar al descubrimiento de la esencia del orden inferior (primero)? No, no lo significa. Es más, como indicó Lenin, el conocimiento científico de un objeto de la naturaleza va siempre precedido de un examen propio de la filosofía natural ("metafísico" o especulativo); tal examen, sin ser científico, contiene a menudo un atisbo de la esencia del fenómeno en cuestión, atisbo, o conjetura, que sólo en un futuro lejano, en una fase más elevada del desenvolvimiento de la ciencia, se descubre como hecho real. O sea que al estudio fáctico de los fenómenos le precede en realidad el intento especulativo de adivinar su esencia.

Así sucedió, por ejemplo, en el caso de la atomística clásica y en el de la doctrina de los filósofos griegos de la Antigüedad sobre los elementos y los fenómenos de la naturaleza. Todo aquello fueron conjeturas geniales filosófico-naturalistas (o sea, puramente especulativas) sobre la esencia de los fenómenos físicos y químicos, y aquellas conjeturas se formularon en una época en que aún no se sometían a ningún estudio experimental sistemático los fenómenos mismos de la naturaleza. Cierto, también las suposiciones filosófico-naturalistas se asentaban en la observación de determinados fenómenos de la naturaleza, mas esto todavía no era un conocimiento científico.

En varios lugares de los *Cuadernos filosóficos* Lenin hace referencia a las conjeturas confirmadas posteriormente, sobre todo por parte de la ciencia natural contemporánea. Por ejemplo, Hegel calificó de arbitraria y aburrida la idea de Epicuro sobre el movimiento "curvilíneo" de los átomos. Lenin, en cambio, dirige contra Hegel la pregunta: "¿Y los electrones?" [19], refiriéndose, en este caso, a las partículas de la materia (electrones) descubiertas por la ciencia contemporánea más pequeñas aún que los átomos y de movimiento curvilíneo dentro del mismo átomo, alrededor de su núcleo. La conjetura de Epicuro, tratada por Hegel como arbitraria y aburrida, en esencia se ha visto confirmada en el siglo XX. Tal es la idea de Lenin.

Ahora bien, es obvio que, en tiempos de Epicuro, no se conocía ningún fenómeno de la naturaleza cuya explicación requiriera elaborar una representación sobre los movimientos curvilíneos de los electrones en el seno de los átomos. En este caso, por consiguiente, el camino real del conocimiento no empezó con el estudio de los fenómenos concretos de la naturaleza, sino con la tentativa de penetrar directamente en la esencia de fenómenos naturales todavía no conocidos y ni siquiera descubiertos. Desde el punto de vista lógico, la penetración auténtica (y no especulativa, aparente) en la esencia de

(18) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 227.
(19) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 266.

los fenómenos sólo puede realizarse después de haber estudiado y conocido los fenómenos mismos cuya esencia el hombre quiere descubrir y conocer. Y ese conocimiento sirve de base para que la penetración aludida pueda ser una realidad. Eso es así no sólo en la lógica, sino, además, en la historia real del conocimiento científico.

Segundo problema: ¿significa la secuencia del movimiento del conocer que va del fenómeno a la esencia y luego a la profundidad de la esencia, que desde el momento en que se penetra en esta última ha terminado ya el estudio de los fenómenos mismos y que el movimiento cognoscitivo ya se opera sólo en la esfera de las representaciones abstractas sobre la esencia? No, no lo significa. El estudio de los fenómenos no sólo no queda interrumpido cuando la ciencia comienza a penetrar en su esencia, sino que, por el contrario, todo paso en la profundidad de la esencia va acompañado de un estudio cada vez más completo de los fenómenos ya antes conocidos o del descubrimiento de nuevos fenómenos cuya elucidación requiere pasar de la esencia del orden dado a la de un orden superior. Así, el descubrimiento de los fenómenos radioactivos implicó el tránsito de las representaciones sobre los elementos químicos invariables que quedan abarcados en la ley periódica según la formulación mendeleieviana (una esencia, valga la expresión, de orden inferior) a la representación de los elementos químicos transformables, que abarca la ley periódica en su nueva formulación física expresada, por ejemplo, en la "ley del salto" (esencia de orden más elevado). Ahora bien, tal penetración en la esencia se llevó a cabo gracias al descubrimiento y estudio de nuevos fenómenos de la naturaleza, de suerte que el tránsito del conocimiento se produjo en realidad como si dijéramos en dos planos: a) de la esencia de un orden a la esencia del orden siguiente, más elevado, y b) de los nuevos fenómenos (radioactividad) al descubrimiento de su esencia, que coincide con la esencia de este orden más elevado respecto a las anteriores representaciones acerca de la esencia (ley) de los elementos químicos.

De este modo, ambos procesos cognoscitivos —el movimiento del conocer que va del fenómeno a la esencia y su movimiento hacia la profundidad de la esencia— se juntan, coinciden, siguen una marcha paralela y se condicionan recíprocamente. Pero una vez más la lógica limpia estos procesos de todo lo accesorio y desmiembra su secuencia lógica fundamental: primero se estudian los fenómenos, y después el conocimiento pasa a descubrir su esencia, con la particularidad de que ésta se presenta multiescalonada y la cognición se mueve hacia la profundidad de la esencia avanzando de peldaño en peldaño.

Tercer problema: ¿significa el movimiento del conocer que va del fenómeno a la esencia, que simultáneamente a dicho movimiento la cognición no realiza otros tránsitos, por ejemplo, de la coexistencia a la causalidad, y de un nexo causal menos profundo a otro que lo sea más? No, no lo significa. El movimiento real del conocer hacia la verdad constituye un proceso complejo, polifacético e interiormente contradictorio. No se ajusta a un simple esquema análogo al que suele utilizarse para escribir un libro: primero va la portada, después la

primera página del texto, tras ella la segunda, etc. Pero la historia de las ideas lógicamente elaborada y generalizada, la historia del conocimiento científico ha de presentarse precisamente en esa simple sucesión, y éste es el motivo por el cual lo lógico, aunque coincide en última instancia con lo histórico, a la vez se diferencia de esto último esencialmente en el sentido del rigor y de la sucesión en que se sitúan los diversos grados que, en el decurso del conocimiento real, a menudo se mezclan y se confunden entre sí.

En efecto, al estudiar los fenómenos de la naturaleza viva, el conocimiento fija lo que parece una coexistencia de numerosos seres vivos cuyas relaciones mutuas no permiten descubrir de momento, entre ellos, nexos causales de ninguna clase. Ahora bien, a medida que el conocimiento empieza a pasar del fenómeno a la esencia, y precisamente en la medida en que este tránsito se realiza, tras la primera representación sobre la coexistencia de diversos seres vivos empieza a descubrirse una representación más profunda sobre las dependencias causales entre ellos y sobre su dependencia de las condiciones externas (medio). Semejante tránsito a la comprensión de las conexiones causales en la naturaleza viva permitió a Darwin destruir la vieja concepción teleológica acerca de los seres vivos. Pero, al mismo tiempo, aquello fue también un tránsito del fenómeno a la esencia en la esfera dada del conocimiento de la naturaleza.

No es casual que Lenin señalara inicialmente como uno de los elementos de la dialéctica "el proceso infinito en que el hombre profundiza su conocimiento de la cosa, de los fenómenos, de los procesos, etc., pasando de los fenómenos a la esencia, y de una esencia menos profunda a otra que lo es más, de la coexistencia a la causalidad y de una forma de conexión e interdependencia a otra más profunda, más general"(20). Sólo más tarde dividió ese elemento inicialmente único de la dialéctica en dos, independientes.

El proceso del conocer transcurre como movimiento simultáneo de la cognición científica de los fenómenos a la esencia y de la coexistencia a la causalidad. Así lo confirma la historia de las doctrinas avanzadas en biología. El progreso de la genética contemporánea que pone al descubierto causas y "mecanismos" más profundos y detallados de los fenómenos de la herencia ha demostrado que el tránsito del conocimiento científico de la esencia menos profunda a la que lo es más, responde verdaderamente, como indicó Lenin, al tránsito de una forma de conexión e interdependencia a otra más profunda y general.

Ahora bien, a pesar de dicha correspondencia, existen ahí dos planos o secciones distintos de un solo y mismo proceso cognoscitivo. Para mostrar la multiplicidad de planos del movimiento real del conocimiento científico, es posible referirse al descubrimiento que hizo D. Mendeléiev de la ley periódica de los elementos químicos. Este acontecimiento de la historia de las ciencias naturales puede presentarse a la vez en distintos planos lógicos: no sólo como tránsito de la des-

(20) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 203 y fotocopia.

cripción de los elementos químicos y sus propiedades —y, por ende, de los fenómenos químicos ligados a ellos— al descubrimiento de su esencia, sino, además, como tránsito: a) del conocimiento de la medida del elemento químico individual (medida como unidad cualitativa y cuantitativa de su determinación: de su "quimismo" y de su "masa" bajo el aspecto de peso atómico) al conocimiento de la línea esencial de las relaciones de medida (bajo el aspecto de disposición de todos los elementos en serie sucesiva según la magnitud de sus pesos atómicos); b) de la simple coexistencia de los elementos químicos al descubrimiento de la relación causal entre ellos (de la dependencia, sujeta a ley, de sus propiedades físicas y químicas respecto al peso atómico); c) de conocer el momento de particularidad de los elementos químicos (su división en "grupos naturales" según su semejanza) a conocer su momento de universalidad (el alcance, común a todos ellos, del sistema periódico, basado en la ley periódica que también les es común), etc.

Ahora bien, la multiplicidad de planos que presenta el movimiento de la cognición científica en la evolución histórica real de las ciencias naturales no excluye de ningún modo la posibilidad de investigar ese movimiento de tal modo que pueda resumirse en una secuencia lógicamente bien formada de grados individuales del conocer, desmembrados de dicho movimiento.

La secuencia lógica del pensamiento y la verdadera marcha de las ciencias naturales

Prosigamos el examen de los problemas que surgen a raíz de que lo lógico no coincide por completo ni mucho menos con lo histórico, sino que constituye lo histórico limpio de casualidades, libre de su forma, la cual presupone una superposición recíproca y un entrelazamiento de distintos planos y aspectos.

Cuarto problema: el hecho de que se forme primero la determinación cualitativa de la cosa y luego su determinación cuantitativa, ¿significa que la investigación cualitativa precede siempre a la cuantitativa y que con el tránsito a ésta, la investigación cualitativa se interrumpe por completo? No, no significa esto. Evidentemente, el que se descubran determinados aspectos de la cualidad de una cosa ha de preceder, como quiera que sea, a la medición de la cosa con el fin de conocer su aspecto cuantitativo. Pero el descubrimiento de la determinación cuantitativa puede dar comienzo antes de que la determinación cualitativa sea establecida con suficiente plenitud, de suerte que en adelante el descubrimiento de ambos aspectos o determinaciones de la cosa dada ya se realice simultáneamente.

Por ejemplo, hubo un tiempo en que la investigación cualitativa de la composición química de la substancia no se llevaba a cabo a escala más o menos sensible; pero ya entonces algunos metales, los que más fácilmente podían limpiarse de impurezas, empezaron a investigarse no sólo aplicando métodos cualitativos, sino, además, cuantitativos (arte de ensayar los metales). Resulta, pues, que en la historia

verdadera del estudio de las sustancias naturales, los métodos cuantitativos surgieron y se aplicaron ya mucho antes de que cobraran auge los métodos cualitativos.

Es más, en la historia de la ciencia son bien conocidos casos en que la determinación cualitativa de objetos de la naturaleza todavía desconocidos (y por tanto esos mismos objetos) se descubrió tan solo mediante investigaciones cuantitativas. Así, por ejemplo, algunos gases se descubrieron por ese procedimiento, gracias a métodos cuantitativos de investigación (de peso y de volumen), y también las partes invisibles del espectro óptico (la ultravioleta y la infrarroja), aplicando mediciones cuantitativas (térmicas).

Esto significa que los aspectos cualitativo y cuantitativo de las cosas y de los fenómenos se encuentran en estrechísima y recíproca interacción, y que sólo de manera abstracta podemos separarlos uno del otro y decir: el conocimiento se mueve en el sentido de establecer la determinación cualitativa ("idéntica con el ser", según Hegel) del objeto para pasar luego a establecer su determinación cuantitativa ("indiferente al ser", según el mismo Hegel). Mas, así es, precisamente, como debe proceder la lógica, dado que aspira a presentar en su aspecto puro la secuencia lógica del movimiento de las ideas científicas.

Quinto problema: El hecho de que en la historia real del conocer la práctica impregne todo el proceso cognoscitivo, desde el principio hasta el fin ¿significa que ésta no puede ni debe considerarse como un grado especial del conocimiento? No, no significa esto. Desde luego, la práctica siempre ha sido y es en última instancia la fuente y el estímulo del conocimiento científico, su "fin último" (en el sentido de esfera de aplicación de sus resultados) y el criterio de la verdad de tal conocimiento. Sin embargo, lógicamente, como en los casos que ya hemos visto, el proceso en que el conocimiento científico se mueve hacia la verdad puede presentarse tal como lo caracterizó Lenin en sus *Cuadernos filosóficos*: "De la contemplación viva al pensamiento abstracto *y de él a la práctica*, tal es el camino dialéctico del conocimiento de la *verdad*, del conocimiento de la realidad objetiva" (21).

Ahora bien, esto no significa, como es obvio, que a la práctica, en el movimiento real del conocer, se le asigne sólo el "tercer grado", que no se dé ésta en absoluto en los dos grados primeros (el sensorial y el teórico abstracto) ni que en ellos su papel se reduzca a cero. Aquí se trata exclusivamente de la secuencia lógica en el descubrimiento de las funciones cognoscitivas prácticas de la ciencia, en el presente caso, de las ciencias naturales: en un principio se descubre su función empírica (determinación de los hechos, su reunión, su sistematización inicial, su descripción, etc.); luego, su función teórica (ver la conexión interna entre los hechos, su generalización y explicación, la posibilidad de realizar prognosis, etc.); finalmente, su función práctica, técnica y de carácter productivo, cuando se abren cami-

(21) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, págs. 152-153.

nos a nuevas ramas de la industria y cuando las ciencias naturales se van convirtiendo, cada día más, en una fuerza directamente productiva.

En su tiempo, entre los filósofos surgió una discusión acerca de si la práctica representaba o no el "tercer grado fundamental del conocimiento" (el que seguía a su grado sensorial y a su grado racional). La discusión resultó lamentablemente unilateral, y por este motivo estéril y hasta un poco escolástica. Una de las partes de la controversia sólo tenía en cuenta el momento lógico del proceso cognoscitivo (lógicamente generalizado y limpio de detalles concretos), pero no podía concatenar ese momento abstractamente delimitado con todo el proceso real del conocimiento, con la historia auténtica de la ciencia. La otra parte, por el contrario, tomaba como base todo el proceso real del conocimiento (la historia de la ciencia como un todo indivisible) y no veía la posibilidad ni la necesidad de desmembrar de dicho proceso el momento lógico, que expresa el nexo lógico interno y la secuencia de los diferentes momentos o aspectos del proceso del conocimiento humano.

La circunstancia de que en la fórmula de Lenin sobre el movimiento del conocer hacia la verdad la práctica represente el eslabón final de todo el proceso, su etapa superior, no significa en absoluto negar la posibilidad de considerarla punto de partida y fuerza motriz de todo el conocimiento y criterio —con vigencia constante— de su certeza. Al contrario, precisamente en la práctica, en la aplicación práctica de los resultados de la ciencia, incluida la particularidad de las ciencias naturales, se descubre que la práctica constituye la fuente y el estímulo de todo el proceso cognoscitivo y el criterio de la verdad de sus resultados y éxitos.

De este modo tan peculiar se pone de manifiesto la correlación entre lo histórico (el todo concreto) y lo lógico (lo abstractamente separado) en la dialéctica marxista, y esto es de suma trascendencia para la elaboración dialéctica de la historia de las ciencias naturales.

Necesidad de estudiar la ciencia del pasado y cuidar de ella

Hasta ahora hemos examinado la actitud de Lenin respecto a la historia de la ciencia preferentemente en el aspecto filosófico. Mas esta cuestión presenta en él otro aspecto, eminentemente práctico.

El que Lenin diera tanto valor a la reunión y al estudio de los datos sobre la historia de la ciencia y de la obra de algunos sabios del pasado es un lógico corolario de su posición general en lo tocante a la relación del marxismo con la cultura y la ciencia de las épocas históricas precedentes. Los vulgarizadores del marxismo, sobre todo sus enemigos, han recurrido a todos los ardides para demostrar que el marxismo significa desechar los valores espirituales que la humanidad ha ido acumulando a lo largo de una historia más de dos veces milenaria. Hoy, transcurrido casi medio siglo, es útil recordar la lucha teórica y práctica que Lenin sostuvo contra esta nociva concepción.

Ya en 1913, en el artículo *Tres fuentes y tres partes integrantes del marxismo*, remitiéndose a la historia de la ciencia, escribió: "La historia de la filosofía y la historia de las ciencias sociales enseñan con toda claridad que no hay nada en el marxismo que se parezca al «sectarismo», en el sentido de una doctrina encerrada en sí misma, rígida, surgida *al margen* del camino real de la civilización mundial. Al contrario, el genio de Marx estriba, precisamente, en haber dado solución a los problemas planteados antes por el pensamiento avanzado de la humanidad" (22).

Lenin subrayó reiteradamente que el marxismo no sólo no había arrumbado las valiosísimas conquistas de la época burguesa, sino que, por el contrario, las había asimilado y reelaborado. Tan solo el ulterior trabajo sobre esta base y en esta dirección, inspirado en la experiencia práctica de la dictadura del proletariado, puede considerarse como desarrollo de la cultura auténticamente proletaria.

La misma idea expuso Lenin en el discurso *Tareas de las juventudes comunistas* que pronunció en el III Congreso de la Unión de Juventudes Comunistas. Dirigiéndose a los delegados del Congreso, les advirtió que cometerían un gravísimo error si intentaran llegar a la conclusión de que es posible ser comunista por haberse aprendido las consignas comunistas y los resultados de la ciencia comunista sin haber asimilado la suma de conocimientos de los que el propio comunismo es una consecuencia. Marx, decía Lenin, "se apoyaba en el sólido fundamento de los conocimientos humanos conquistados bajo el capitalismo", demostraba la certeza de su doctrina después de haber hecho enteramente suyo lo que proporcionaba la ciencia anterior. Reelaboró y sometió a crítica cuanto había creado la mente humana.

El estudio de la historia de la cultura y de la historia de la ciencia constituye un elemento indispensable de la educación comunista, de la enseñanza y de la formación de la juventud. Al dar cumplimiento a los preceptos de Lenin, hemos de evitar que la juventud caiga en la presunción, hemos de ayudarle a comprender cómo de la suma de los conocimientos humanos nació el comunismo, nació la doctrina marxista-leninista que alumbra el camino de la humanidad hacia su futuro.

Referiremos, en conclusión, un testimonio personal acerca de cómo Lenin consideraba la historia de la ciencia y cómo apreciaba a los científicos del pasado. En 1947 vio la luz el libro de O. Trigórova-Mendeléieva *Mendeléiev y su familia*. "En 1918, el Jefe del servicio administrativo del Consejo de Comisarios del Pueblo, V. Bonch-Bruévich, me comunicó —escribe Trigórova— que Vladímir Ilich Lenin le había encargado me transmitiera que yo, como hija de Dmitri Ivánovich Mendeléiev, tenía que escribir mis recuerdos acerca de mi padre, pues no debía quedar olvidada ni una sola faceta de la vida de Dmitri Ivánovich, toda ella de interés público" (23).

---

(22) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIII, pág. 40. ("Obras escogidas en tres tomos", Edit. Progreso, Moscú, 1966, t. I, pág. 61).

(23) *O. D. Trigórova-Mendeléieva*, "Mendeléiev y su familia", Moscú, 1917, pág. 3.

BIBLIOTECA VALENCIA FILOSOFIA Y LETRAS

Pedí a Bonch-Bruévich que me relatara más detalladamente el episodio a que hace referencia Trigórova-Mendeléieva, así como todo cuanto hubiera oído decir a Lenin acerca de Mendeléiev. "Por desgracia no puedo satisfacer su ruego, pues a Vladímir Ilich no le oí hacer manifestaciones especiales sobre Mendeléiev —me comunicó Bonch-Bruévich—. Lenin le tenía en gran estima como hombre de ciencia; en memoria de Mendeléiev, se ocupaba de su familia; a todos cuantos le habían tratado les pedía que escribieran sus recuerdos, y decía que todo esto tenía que publicarse inmediatamente. Vladímir Ilich prestaba grandísima atención a las memorias, a los recuerdos, a los diarios, a las cartas y a todo epistolario en general. Siempre decía que todo ello constituye una fuente de extraordinaria importancia para el estudio de una época, de la biografía de determinadas personas, de grupos y de partidos.

Siempre insistía en que tales obras se han de dar a la imprenta sin tardanza; a él mismo le gustaba leerlas atentamente e incluso escribir reseñas, como hizo con las memorias de Sujánov, un hombre que «no es de los nuestros» —como decía él—, pero que escribió unas memorias interesantísimas sobre los primeros días de la revolución de Febrero [24].

Fue Lenin, pues, quien, con su insistencia, indujo a la hija de Mendeléiev a escribir sus memorias.

Lenin dijo más de una vez, que era necesario editar todas las obras de D. Mendeléiev, incluyendo en tal edición absolutamente todo cuanto hubiera sido escrito de puño y letra del gran científico.

Esto es lo poco que puedo comunicarle acerca de la cuestión que le interesa".

La carta transcrita habla de muchas cosas: Lenin estimaba en alto grado todos los datos documentales sobre los acontecimientos históricos, entre ellos, sobre la historia de la ciencia; Lenin se interesaba personalmente por tales documentos, recomendaba que se recogieran cuidadosamente, que se conservaran y estudiaran, pues forman parte del material histórico cuya elaboración (crítica, desde luego) permite penetrar más hondamente en el curso de los acontecimientos del pasado. Los documentos aludidos, a juicio de Lenin, no han de permanecer en los archivos cual peso muerto, sino que se han de publicar y dar a conocer lo más rápidamente posible a un amplio círculo de lectores, lo cual permitirá que resulten accesibles a los investigadores para que los elaboren y generalicen su contenido.

Ese testimonio adquiere singular interés si se ve en relación con todas las declaraciones de Vladímir Ilich Lenin en que se hace referencia a los problemas de la historia de la ciencia, de la historia de las ciencias naturales.

---

(24) Sujánov N. (seudónimo de Nikolái Nikoláievich Gimmer, n. en 1882). Menchevique, autor de "Memorias sobre la revolución" (7 libros, 1922-1923). (N. del tr.).

N. F. OVCHÍNNIKOV
Doctor en ciencias filosóficas

EL PROBLEMA DE LA SÍNTESIS DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO CONTEMPORÁNEO A LA LUZ DE LA FILOSOFÍA MARXISTA-LENINISTA

En la época actual adquiere singular relieve la idea leninista de que los filósofos marxistas han de trabajar en unión y en colaboración con los naturalistas. Los éxitos de las ciencias naturales han influido de tal modo sobre todos los aspectos de la vida social, y los descubrimientos de la ciencia moderna resultan tan profundos e insólitos que el examen de la problemática teórico-cognoscitiva que arranca de la ciencia contemporánea se convierte en tarea inaplazable. El conocimiento científico —magno orgullo de la humanidad, según expresión de Lenin— fue siempre objeto de la más viva atención de Vladímir Ilich. Lenin seguía con mucho cuidado la evolución de las ciencias naturales de su tiempo. Su aprecio sin límites por la ciencia, por el saber auténtico sirve de ejemplo en la actual elaboración de los problemas filosóficos de dichas ciencias. Para que el éxito corone esta empresa ha de darse una condición esencial: naturalistas y filósofos han de colaborar estrechamente entre sí y con espíritu creador. Ésta es una necesidad que Lenin señalaba.

Entre los problemas que hoy plantea el progreso de la ciencia, ha ido perfilándose con trazo cada vez más nítido durante los últimos años y más apremiante en el plano teórico, el de la unidad de los conocimientos científicos. La causa de que así sea radica en la ramificación y en la diversidad extraordinarias del conocimiento científico en general.

La variedad de los conocimientos científicos actuales es un hecho del dominio común. La ciencia progresa con vigoroso dinamismo, se complica, surgen nuevas disciplinas científicas y orientaciones. Ello hace que haya aumentado fabulosamente la cantidad de la información científica, en extremo diversa, que las distintas ciencias proporcionan. Para examinarla y asimilarla, a menudo surgen dificultades

insuperables que pueden suponer un freno para la expansión misma de la ciencia. Mas en la propia naturaleza de la ciencia se halla la propensión a la unidad del saber. Es necesario investigar esta tendencia, descubrir las formas y los medios de esta unidad, que puede convertirse en uno de los medios más importantes para superar, la inquietante contradicción entre el volumen y la diversidad cada vez mayores de la información científica por una parte y los medios de que disponemos para utilizarla por otra parte. Descubrir la unidad de la ciencia es una necesidad inaplazable del actual desarrollo del conocimiento del mundo. La tendencia a dicha unidad está llamada a contribuir a que se supere la contradicción indicada cuyo origen radica en el progreso mismo de la ciencia. Comprender esta tendencia y poner de manifiesto las particularidades de dicho proceso así como sus leyes constituye una de las tareas más importantes de las investigaciones de nuestra época en lo que respecta a la filosofía de las ciencias naturales. Si examinamos cómo se realiza este proceso en el saber colectivo de la humanidad sin que dependa, en cierto sentido, de la voluntad del individuo, podremos ver distintas variedades de tal unidad. Aquí distinguiremos cuatro tipos, o cuatro caminos, de unificación del conocimiento científico.

El primer tipo de unión consiste en que, en el proceso de diferenciación del saber, nacen disciplinas científicas como la cibernética, la semiótica y la teoría general de los sistemas cuyo propio contenido está relacionado con el descubrimiento de lo que existe de común en las esferas de investigación más diversas. En esta vía se produce una integración peculiar de los conocimientos que hasta cierto punto compensa la diversidad de las disciplinas científicas y sus delimitaciones. Sin embargo, estas mismas ciencias integradoras son diversas y su desarrollo, así como la posible aparición de nuevas disciplinas de este género, se trueca en última instancia en una nueva y peculiar diferenciación de la ciencia. La manera de resolver la contradicción que surge en este camino puede buscarse en la tendencia natural de las ciencias a influirse mutuamente, a actuar unas sobre otras, de suerte que las leyes de una ciencia sirven como método para resolver problemas en otras áreas del conocimiento científico. En esto cabe ver el segundo tipo de unidad a que nos hemos referido.

En esta vía y a raíz del proceso de matematización del saber surge la tendencia a la unidad metodológica basada en una ciencia especial, por lo común la más desarrollada. Semejante tendencia, fecunda en una etapa determinada, tarde o temprano pone al descubierto sus límites.

El tercer tipo de propensión a la unidad del saber científico se halla relacionado con la naturaleza de los conceptos fundamentales que, surgidos inicialmente en el lenguaje de todos los días y en el sistema de los conocimientos filosóficos, adquieren luego el sentido de nociones científicas fundamentales. Puede decirse que, en el presente caso, nos encontramos con la unidad conceptual de la ciencia. Una unidad de ese tipo se daba ya en las ciencias naturales clásicas. Las nociones de espacio, de tiempo y de fuerza pueden servir como

ejemplo de conceptos unificadores en las ciencias naturales del período clásico. Conceptos como los de "probabilidad", "simetría", "estructura" o "información" se convierten en nociones científicas generales que favorecen la elaboración de un lenguaje único de la ciencia y realizan la unidad del saber humano.

Como generalización de la unidad conceptual de la ciencia surge la posibilidad de un cuarto camino, en cierto sentido el más esencial, hacia la unidad de los conocimientos científicos, a saber: el de seguir elaborando la metodología filosófica. La ciencia es un sistema de conocimientos diversos, y ninguno de los elementos de dicho sistema puede desarrollarse al margen de la interacción interna de todos ellos y sin la interacción —lo cual es de especial importancia— con todo el sistema íntegro. Y en este caso las leyes de la formación íntegra también sirven de objeto a las investigaciones lógico-filosóficas.

El problema de la unidad del saber, puede abordarse asimismo de otras maneras, pero todas requieren, de uno u otro modo, en calidad de premisa, una determinada interpretación y comprensión de la naturaleza de la ciencia. En el presente artículo desearíamos llamar la atención del lector sobre algunos aspectos filosóficos del problema indicado. Para ello hay que ver la ciencia como una forma especial del saber humano, la cual, a su vez, puede entenderse como una de las múltiples formas de la actividad del hombre.

Cabe decir que la ciencia constituye un tipo especial de saber. Ahora bien, esto significa que antes de investigarla y examinar su diversidad y su unidad, conviene analizar precisamente el saber como algo más general y primario. La actividad vital del hombre es imposible sin conocimientos, pero la ciencia surge a un nivel bastante elevado de la cultura humana en calidad de tipo especial de saber. Toda ciencia es un saber, mas no todo saber es ciencia. Para abordar la investigación de la ciencia, es necesario concebir el saber como rasgo esencial de la cultura humana, del quehacer del hombre.

El saber del individuo y el saber de la colectividad

En la historia de la filosofía, ya cuando ésta surgió, se planteó el problema de la estructura de los conocimientos, y se estableció una diferencia entre el saber del individuo y el de la colectividad. Por colectividad humana cabe entender una unión social de personas característica de una época dada. Como es obvio, las leyes de la estructura y del desarrollo de las formaciones sociales exigen una investigación especial. Para nuestros fines, sin embargo, basta indicar que la colectividad humana que nos interesa ha de poseer cierta integridad, y dicha integridad debe expresarse, en particular, en el carácter especial del saber inherente a toda la colectividad dada. Los conocimientos del individuo y los de la colectividad, están ligados entre sí y no existen unos sin los otros. El carácter y el nivel de lo que el individuo sabe se hallan determinados por el carácter y el nivel del saber de la época en que ese individuo vive. El influjo determinante del saber colectivo no es unívoco, desde luego. Hay hombre al que

le es posible "ir a la par de su siglo en instrucción" y comprender más profunda y plenamente que otros los problemas vitales de su época. Otro permanece, en sus conocimientos individuales, al nivel de las representaciones empíricas. Ahora bien, precisamente es esta heterogeneidad de la influencia del saber colectivo lo que plantea el problema de investigar la estructura del saber, el problema de la interconexión de los elementos de tal estructura. Al investigar el nexo y la influencia recíproca entre el saber de la colectividad y el saber del individuo, tenemos motivos más que suficientes para diferenciar esos dos tipos de saber sin desacoplarlos y sin perder de vista su interconexión. Cada uno de ellos puede representarse como un organismo vivo especial, como un sistema en desarrollo. Pese a todas sus conexiones, son esencialmente diferentes, como diferentes son la célula viva y el organismo vivo formado de células.

En un corte genético —o, mejor dicho, histórico— del saber de la humanidad, podemos ver cómo nace la ciencia y cómo se va desarrollando gradualmente a partir de las formas iniciales del saber. El corte estructural presupone el examen de los resultados del saber y de su forma en un momento histórico determinado. En un corte estructural de ese tipo fácilmente se ve que en cada época histórica dada, el saber es heterogéneo. En la época contemporánea, el panorama estructural del saber resulta extraordinariamente complejo y vario, cual mosaico: contiene múltiples elementos diferentes. Ahora bien, si nos fijamos en los grandes elementos de dicho panorama, veremos que el saber actual, así como el de los siglos precedentes, cuando se había formado ya el saber científico, contiene por lo menos tres elementos fundamentales: arte, filosofía y ciencia, puesto que diferenciamos filosofía y ciencia, entendiendo por esta última las ciencias especiales: sociales, naturales y técnicas (en general, prácticas).

Elementos del enfoque científico surgieron ya en los pensadores de la antigua Grecia, y ese enfoque estaba relacionado con las formas primigenias de la dialéctica. Ya ante Platón la investigación del saber se presentaba como problema de dramáticas contradicciones del pensamiento humano. Los eleatas —filósofos de la Grecia clásica que proclamaban la homogeneidad y la inmovilidad de todo lo existente— pusieron al descubierto esas contradicciones dejando para las generaciones que les iban a seguir la búsqueda de soluciones aceptables. Dicho en breves palabras: se trataba de contradicciones que surgen en el camino que sigue el conocimiento del mundo, —en cambio constante— dado al hombre en las percepciones sensoriales. Lenin expresó con extremada concisión el sentido del problema que inquietaba a los pensadores grecorromanos: "... la cuestión no está en si hay movimiento, sino en cómo expresarlo en la lógica de los conceptos" (1). Platón ve la manera de resolver el problema en el reconocimiento de diversos géneros de saber, los cuales "son independientes unos de otros y por sus propiedades son distintos" (2). Platón ve el principio de la

(1) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 230.
(2) *Platón*, "Timeo", 51 E. Kíev, 1883.

división del saber en las particularidades del ser humano. Todo individuo posee unos conocimientos fundados en la confianza en los datos de las sensaciones o en la opinión de otros hombres. Ése es un tipo de saber que cambia fácilmente, poco firme, poco digno de crédito. Ciertos individuos, sin embargo, se elevan por encima de este género de saber. Son los que poseen la facultad del conocimiento racional, digno de mayor crédito que el saber inestable y engañoso de las percepciones sensoriales o el que uno se apropia, mudable, fundado en opiniones.

Ahora bien, tampoco el saber racional, según Platón, es un saber verdadero en el pleno sentido de estas palabras. El conocimiento más elevado y auténticamente verdadero es el que llega al mundo perdurable de las ideas. Y se alcanza, ante todo, mediante la razón suprema. "Sólo los dioses —dice Platón—, poseen razón; en cambio entre los hombres la poseen únicamente una parte insignificante"(3). En correspondencia con los géneros de saber existen también los géneros de esencia. Esto es lo que permite a Platón proponer una solución del problema del movimiento. El mundo que fluye sin cesar y cambia eternamente se conoce a través de los sentidos, mientras que el mundo de las esencias inmutables o ideas se llega a conocer por medio del entendimiento, y en particular en su plenitud y verdad, por medio de la razón. Sin embargo, lo que a nosotros nos interesa en esta lógica de los conceptos es otra cosa: en ella se expresa, de manera ingenua, no sólo la idea de que existen distintos niveles de conocimiento propios del individuo, sino que se da la división primaria de toda la esfera del saber en individual e impersonal.

La concepción idealista de Platón sobre el mundo perdurable de las ideas, así como cualquier otra forma de idealismo filosófico, creció, como subrayaba Lenin, en "el árbol vivo del conocimiento humano vivo, fecundo, verdadero, poderoso, omnipotente, objetivo y absoluto" (4). La idea de Lenin acerca de las raíces gnoscológicas del idealismo proporciona el fundamento para interpretar racionalmente el mundo perdurable de las ideas platónicas como expresión inicial y llena de representaciones fantásticas de la certera idea de que existe un saber propio de la colectividad social de la época, y en este sentido, independiente del individuo. Un hombre puede permanecer analfabeto toda su vida. Los conocimientos de semejante individuo son en extremo limitados. Otras personas reciben la posibilidad de familiarizarse con el saber colectivo y de introducir en él los resultados de su pensamiento personal. Ello no obstante, dicho saber como sistema de ideas evoluciona en virtud de leyes propias que no está en condiciones de modificar una sola persona por poderosa que en otros aspectos sea. Aquí vemos cómo del principio de la división del saber tal como se desprende de las particularidades del individuo, se pasa al principio de la división que se deriva de las peculiaridades del saber mismo.

---

(3) *Ibíd.*

(4) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 322.

Desde luego existen particularidades individuales, que pueden tomarse como objeto de investigación especial. Pero lo que a nosotros nos interesa en el presente caso son las particularidades distintivas del saber del individuo, y no el individuo por sí mismo, formado en un medio social dado. Prosiguiendo el examen del saber con recursos de la abstracción teórica, cabe decir que el saber de un individuo, inseparable del saber impersonal de la colectividad, puede ser objeto, asimismo, de cortes genético y estructural. Y tales cortes proporcionan cuadros esencialmente distintos de los que se habían obtenido como resultado de los correspondientes cortes del saber propio del organismo social.

En ese caso nos encontramos con un sujeto que tiene enfrente el objeto, y la cuestión estriba en comprender el saber como saber acerca del objeto. Desde la época de Kant, la noción de sujeto adquirió un determinado sentido filosófico y se convirtió en objeto de detenido análisis gnoseológico. Huelga decir que también, antes de Kant, esa noción se había discutido en la historia de la filosofía. Mas, en aquel período, no había adquirido el carácter problemático típico del contenido actual de dicho concepto [5]. Aquí nos interesa solamente un aspecto del problema: qué fundamentos pueden encontrarse para realizar el paso al mundo exterior partiendo de los datos de la percepción sensorial. El resultado de ese paso será el conocimiento del mundo.

No hay duda de que semejante paso se efectúa en la práctica real del conocer ya al nivel de las percepciones sensoriales. En ello radican el sentido y el contenido "del llamado *realismo ingenuo*, es decir, del punto de vista habitual, afilosófico, ingenuo de todas las personas que no se toman el trabajo de preguntarse si existen ellas mismas y si existe el medio, el mundo exterior" [6]. El problema estriba en cómo interpretar teóricamente ese paso al mundo exterior y comprender de qué manera en el conocimiento se realiza el tránsito del sujeto al objeto. Es esencial, además, que "el materialismo pone *conscientemente* en la base de su teoría del conocimiento la convicción «ingenua» de la humanidad" [7]. Al investigar teóricamente el contenido del saber, no es posible quedarse en el nivel del realismo ingenuo, pues la ciencia contemporánea plantea problemas epistemológicos que sólo pueden resolverse si se analiza desde todos los puntos de vista la naturaleza del saber. La búsqueda de los fundamentos del peculiar movimiento del sujeto al objeto abre la posibilidad de comprender la naturaleza del conocimiento humano e investigar las tendencias de su desarrollo, que conduce a formas más elevadas del saber.

El corte genético del saber individual se investiga en psicología,

---

(5) Para más detalles sobre el particular, ver: *V. A. Lektorski*, "El problema del sujeto y del objeto en la filosofía clásica y en la filosofía burguesa actual", Moscú, 1965.

(6) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 63. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 63).

(7) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 66. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 65).

y ante todo en la esfera de la denominada epistemología genética. En este sentido, son muy interesantes e importantes los resultados obtenidos por Jean Piaget. Nos referimos en este caso a los resultados de sus investigaciones psicológicas especiales, a los que podemos remitirnos como datos científicos concretos que han obtenido una fundamentación experimental. J. Piaget investiga las acciones con objetos y la experiencia, que con ellas se adquiere. El pensamiento, en formación, del niño aparece como un sistema de operaciones que pueden comprenderse como forma especial de acciones internas. Se distinguen cuatro estadios fundamentales en el desarrollo del pensamiento individual. Constituye el primer estadio el proceso de formación de las operaciones. El segundo estadio se caracteriza por la formación del lenguaje y la interiorización de las acciones. En el tercero, las acciones interiores adquieren carácter estructural y se forma la lógica de las acciones reales. Finalmente, aparece la capacidad de realizar operaciones formales, y las operaciones mismas constituyen un todo estructural" (8).

En relación con el problema que nos interesa conviene señalar que el rasgo esencial de las operaciones, según Piaget, es su reversibilidad. Dicho de otro modo, para cada operación ha de existir una operación inversa que retorne la situación al estado inicial. La acción del sujeto puede ser, desde luego, la que se quiera y tan arbitraria como se quiera. Las investigaciones, sin embargo, ponen de manifiesto que sólo el carácter operativo de la acción externa conduce al sistema de las acciones internas. Es, precisamente, la posibilidad de la acción inversa o, dicho de otro modo, la peculiar simetría de esta acción lo que hace posible consolidarla en el sujeto, transformarlo en un sistema de acciones internas. En este caso en el sujeto surge la posibilidad de captar en sus acciones los momentos estables y con ello fijar los objetos con independencia de la actividad interna del propio sujeto. En este punto puede verse el comienzo de la formación de esa particularidad del individuo, que nos resulta habitual y al mismo tiempo sorprendente por su naturaleza, que denominamos saber. Cabría decir que el saber es una forma de la actividad del sujeto. Sin embargo, la actividad por sí misma aún no constituye un saber. Dicho con más precisión: el saber surge junto con la actividad, pero constituye más bien un resultado de esta última fijado en el sistema de acciones internas, y no la actividad por sí misma. Precisamente el hecho de que las acciones puedan fijarse, su carácter operativo —dicho de otro modo: invariante o estructural— es lo que constituye el rasgo esencial del conocimiento del objeto.

El saber del individuo, claro está, se encuentra socialmente mediatizado desde el primer momento. Ello explica que al pasar del corte genético del saber individual a su corte estructural puedan observarse niveles esencialmente distintos de saber en personas diferentes. Tal diferencia, por lo visto, es una consecuencia —dada por supuesta

(8) Ver J. *Piaget*, B. *Inhelder*, "La génesis de las estructuras lógicas elementales", Moscú, 1963.

una igualdad de posibilidades— de la diferencia de microclima social en que se forma y funciona el individuo. La mediación social en los conocimientos del individuo se halla profundamente oculta en la especificidad de la conducta humana. Si se hace caso omiso de tal mediación, el desarrollo de la personalidad, de su capacidad para el saber y sus disposiciones aparecen como propiedades que le son inherentes desde un principio. No hay duda de que al reconocer estas propiedades señalamos el objeto de la investigación. Las conclusiones filosóficamente infundadas se producen cuando la indicación del objeto que se investiga se presenta como solución del problema.

Puede considerarse plenamente cierta la afirmación de que la facultad de conocer es una propiedad del ser humano. Mas en esta afirmación va implícito un problema, el de hallar los factores que han formado esta propiedad. Cabe suponer que esos factores se han de buscar en el saber, el cual incluye no sólo los conocimientos del individuo, sino, además, el saber colectivo, que se crea como algo supraindividual, capaz de influir, por ende, sobre cada una de las personas.

La filosofía y el sistema de las ciencias de la naturaleza

Si examinamos todo el sistema del saber humano vemos que su forma o, mejor dicho, su estructura tiene sus raíces en sí mismo, en su naturaleza. Aunque producto del quehacer humano, el saber, por su contenido, no depende del hombre. Es más, incluso por su forma, o dicho de otro modo: por su estructura, se configura y se desenvuelve independientemente de la voluntad de toda persona determinada. Como tiene sus propias leyes de desarrollo, él mismo puede convertirse, y se convierte, en objeto de investigación.

La diferenciación actual del conocimiento científico es una consecuencia directa de su desarrollo anterior y se deriva de las leyes de la actividad cognoscitiva. Con plena conciencia del problema que representa la síntesis de los conocimientos científicos de nuestra época, nos vemos obligados a circunscribir nuestra atención a las características estructurales generales de la filosofía y de las ciencias especiales en sus relaciones recíprocas, que se han ido formando hasta llegar a nuestro tiempo. Al señalar, en el presente artículo, la diferencia de filosofía y ciencia subrayando a la vez su unidad orgánica en el sistema del saber en desarrollo, no hacemos sino indicar los rasgos generales de ulteriores investigaciones filosóficas acerca de las profundas leyes históricas a que obedece el desenvolvimiento de la filosofía y su nexo con el desenvolvimiento de las ciencias especiales.

Diferenciando las ciencias especiales y la filosofía, fijamos la peculiaridad del objeto y del método de investigación de estas esferas de la actividad cognoscitiva. La filosofía por sí misma es heterogénea, como lo es también, a su modo, la ciencia. Cada ciencia especial tiene su objeto de investigación, y en virtud de la diversidad del mundo vamos contando con un número cada vez mayor de ciencias naturales y sociales. En el dominio de la filosofía se observan, aná-

logamente, un gran número de orientaciones y sistemas. Sin embargo, la diferenciación de la filosofía se apoya en fundamentos distintos de los que sirven de base a la diferenciación de los dominios especiales de la ciencia. Esos fundamentos se encuentran en el singular papel social que desempeña la filosofía y en las particularidades del proceso mismo de la cognición del mundo. La cuestión está, al respecto, en que la diversidad de ideas filosóficas y de escuelas que luchan entre sí, pueden reducirse a orientaciones fundamentales. Sabido es que las verdades filosóficas se llegan a conocer en la lucha del materialismo con el idealismo, de la dialéctica y de la metafísica, pues la verdad constituye un proceso. El conocimiento del mundo es sumamente complejo y contradictorio, y esta complejidad en el terreno del conocimiento filosófico se traduce en el hecho de que al avanzar por el camino que conduce al saber verdadero puede haber exageraciones en los límites del conocer, deformaciones y desviaciones de la verdad, todo lo cual proporciona bases gnoseológicas para los sistemas idealistas. Ya nos hemos referido a la idea de Lenin en la cual se subraya que el idealismo filosófico crece en el árbol vivo del conocimiento humano vivo, fecundo, verdadero, poderoso, omnipotente, objetivo y absoluto.

Cuando se empieza a resolver un problema, luchan ideas rivales con el mismo derecho a aspirar a la verdad. Únicamente en el proceso de la lucha de las diversas ideas se aclara en final de cuentas cuál es la solución verdadera. Puede decirse que en un comienzo los errores son inseparables del saber verdadero y en este sentido constituyen una forma de llegar a la verdad, una forma de toma de conciencia de nuevos problemas cuando la solución verdadera hasta un momento determinado empieza a revelar, en el decurso del conocer, su inconsistencia. En esa lucha que se libra a lo largo de toda la historia del conocimiento se elabora el método científico para estudiar el mundo, para investigar sus procesos reales. En este sentido, la filosofía no es opuesta a las ciencias especiales, pero en sus rasgos actuales ella misma se convierte en filosofía científica.

Puede afirmarse que la filosofía es una ciencia a la par de las otras [9]. Esta apreciación será acertada si nos referimos a la filosofía materialista dialéctica actual. Al mismo tiempo, la filosofía tiene particularidades específicas que permiten destacarla como forma especial del saber en el cuadro general de la actividad cognoscitiva del hombre y confrontarla con otras ciencias. La filosofía no sólo se diferencia de las ciencias especiales por los fundamentos y el carácter de su diferenciación, sino, además, por sus objetivos y por sus procedimientos de investigación. Esa diferencia se deriva ante todo de las particularidades del objeto. Las ciencias naturales especiales, por ejemplo, componen un saber acerca de las cosas, de las propiedades y de las relaciones (leyes) de la realidad objetiva. La misión de la filosofía no está sólo en hallar, partiendo de los conocimientos especiales,

---

(9) Ver *I. V. Kuznetsov*, "¡Sí! La filosofía es una ciencia", "Voprosi filosofii" ("Cuestiones de filosofía"), 1962, Nº 1.

las leyes más generales del mundo objetivo, sino, además, en investigar el proceso mismo del conocer. Esta última tarea emana de la necesidad de resolver el problema cardinal de la filosofía, problema que "se reduce a contraponer la materia al espíritu, lo físico a lo psíquico" [10].

La filosofía plantea y resuelve el problema de la relación entre el conocimiento y el objeto del conocimiento, y en ello radica la tarea capital de las investigaciones filosóficas. No hay duda de que el problema básico de la filosofía se resuelve, a final de cuentas, en sentido materialista. Ahora bien, es preciso tener en cuenta que esta resolución se ejecuta en plena lucha de ideas filosóficas. En cada época histórica dada, y a raíz del avance de las ciencias naturales y de sus resonantes éxitos en el conocimiento del mundo, el problema central de la filosofía se reproduce en nueva forma, exigiendo que se comprendan, a la luz de los principios filosóficos, los novísimos datos de la ciencia. Además, como dijo Lenin, "la coincidencia de los conceptos con la «síntesis», con la suma, con el compendio de la experiencia humana, de las sensaciones y de los sentidos *es indudable* para los filósofos de *todas* las orientaciones" [11]. La cuestión que divide las orientaciones filosóficas estriba en determinar de dónde procede esa coincidencia: de la naturaleza o del propio saber [12].

La filosofía materialista dialéctica resuelve el problema de la síntesis del conocimiento partiendo de la naturaleza, de aquellas de sus leyes que las ciencias naturales descubren e investigan. Cabe decir, en el sentido más general, que la unidad del mundo, dado que la idea de esta unidad se desprende de toda la historia de la evolución de las ciencias naturales y de la filosofía, determina la unidad del saber, y en consecuencia, la síntesis de los conocimientos científicos constituye un problema que puede resolverse tomando por base el análisis de los resultados del conocimiento científico y de sus datos actuales. En cada época histórica, las ciencias de la naturaleza, con sus resultados, determinan la forma de materialismo que le resulta característica y que se modifica con cada gran descubrimiento científico. En esto se refleja la conexión esencial de la filosofía con las ciencias naturales. Los magnos descubrimientos que éstas hicieron en el siglo XIX, seguidos de los cambios revolucionarios y de los éxitos inmensos que se han registrado en el siglo XX en lo que atañe al conocimiento de la naturaleza, han determinado la forma y el contenido de la filosofía contemporánea.

Las ciencias especiales a la vez que se diferencian de la filosofía están relacionadas con ella, y esta conexión, como también la diferencia, puede observarse estudiando las particularidades del conocimiento científico. Se ha subrayado con mucha razón que el rasgo característico de cualquier ciencia consiste en el descubrimiento de

---

(10) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 48.

(11) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 257.

(12) Ver *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 257; *C. Marx* y *F. Engels*, "Obras", t. XX, págs. 34-35.

leyes en el correspondiente campo de investigación y la inclusión de las mismas en el sistema del saber [13]. Según ese rasgo, lo específico de la filosofía estriba en que las leyes por ella investigadas poseen un mayor grado de generalidad que las leyes de las ciencias especiales. Si nos referimos a las ciencias especiales de la naturaleza pueden señalarse además otros criterios que permiten destacar la filosofía como elemento especial de funciones específicas en el sistema del saber humano. Esos criterios pueden buscarse en el carácter particular del método de investigación tanto en la filosofía, por una parte, como en las ciencias especiales por otra.

Toda ciencia especial tiene sus métodos, determinados por las peculiaridades del objeto. En la esfera indiferenciada inicial del saber, la ciencia surge como un sistema de leyes que se apoyan en hechos de la experiencia. La posibilidad y la necesidad de comprobar empírica y directamente las conclusiones teóricas de la ciencia constituye un rasgo diferencial importantísimo del método especialmente científico. En el sistema desarrollado de los conocimientos humanos donde la filosofía y las ciencias naturales se han separado en zonas de investigación hasta cierto punto independientes, dicha particularidad del método especialmente científico proporciona aún otro criterio para diferenciar la filosofía de las ciencias naturales. Desde luego, la filosofía se ocupa de hechos, de datos de la práctica social y del conocimiento científico. La cuestión radica sólo en el carácter especial de los hechos en que se apoya la filosofía.

El hecho científico puede entenderse como elemento de la estructura de la teoría científica. La particularidad del hecho de esta naturaleza está en que su certidumbre se asegura con recursos que se encuentran fuera de tal estructura. Si se trata de un hecho experimental en el que se apoya una teoría científica especial y cuyo pleno significado sólo se pone de manifiesto en la estructura de la teoría dada, los procedimientos de experimentación sirven —en este caso— de fundamento a la certidumbre del hecho. La filosofía, elevándose al siguiente nivel del conocimiento y considerando el saber científico especial como objeto de investigación, examina los datos de las ciencias naturales que han alcanzado el valor de conocimientos fidedignos, como hechos específicos en los que se asienta la estructura del edificio filosófico. Sirven, en calidad de hechos para la ciencia filosófica, los resultados teóricos de las propias ciencias naturales. La filosofía no se ocupa de organizar experimentos físicos, químicos, biológicos y de otro tipo. No suplanta las investigaciones especiales de la naturaleza. Lo que hace es apoyarse en los resultados de estas investigaciones.

Las ciencias especiales también elaboran sus procedimientos de explicación de los fenómenos. El fenómeno que se estudia se considera comprendido y explicado si hay manera de incluir el hecho concreto dado en un sistema de leyes y hallar su puesto en la teoría que exista o en una teoría futura. Para comprender la estructura,

---

(13) Ver *B. M.Kédrov*, "La filosofía como ciencia general", "Voprosi filosofii", 1962, Nº 5.

digamos, de los átomos de hidrógeno era necesario construir la teoría general de la estructura atómica. Únicamente tomando dicha teoría como base pueden explicarse las propiedades ópticas de los átomos de hidrógeno, reveladas por los experimentos, así como de los otros átomos conocidos de los elementos químicos. Nos encontramos en este caso con la manifestación de la fuerza aclaratoria de la teoría. Mientras se crea una nueva teoría o se aplica otra ya conocida se resuelve también el problema de predecir nuevos fenómenos de observación. Si el investigador se encuentra con un problema especial en el dominio en que ya se ha elaborado la teoría de los fenómenos, tiene lugar un proceso de aplicación de la teoría, la cual, en este caso, se convierte en un método para resolver problemas especiales. Se sabe, por ejemplo, que para calcular la trayectoria de un satélite artificial de la Tierra se utiliza la teoría general del movimiento mecánico.

La naturaleza del método científico es tal que la resolución de un problema particular presupone incluir el fenómeno que se investiga en el sistema teórico general. La ciencia elabora los procedimientos de tal inclusión si se conoce la teoría del campo dado de fenómenos, o bien dirige sus esfuerzos hacia la formación de una nueva teoría si no se logra llevar a cabo la inclusión. Elaborar los procedimientos explicativos del fenómeno estudiado en el sistema de una teoría que ya existe, o dicho con otras palabras, aplicar una teoría conocida a nuevos hechos constituye el camino del desarrollo extensivo de la ciencia. En este camino se aplican las leyes de una teoría científica dada a las cuestiones científicas y técnicas más diversas. La vía del desarrollo extensivo ha conducido, y conduce, a cosechar éxitos enormes en el conocimiento. Ahora bien, semejante camino tarde o temprano choca con dificultades y se deja para seguir el del desarrollo intensivo. Pero este tipo de desarrollo presupone la necesidad de establecer nuevas teorías. Y la creación de una nueva teoría científica representa un complicado proceso creador en el cual desempeña un papel de primerísima trascendencia el pensamiento filosófico. En esto puede verse no sólo la diferencia, sino, además, la semejanza de los dos métodos especiales de investigación: el científico y el filosófico. La filosofía, al coadyuvar a la estructuración de la teoría, facilita, por ello mismo, la elucidación de los fenómenos que la ciencia investiga.

La tendencia de las ciencias naturales a la unidad metodológica

Una de las particularidades del saber científico contemporáneo consiste en que la interacción de las ciencias especiales adquiere un carácter heurístico. El sistema teórico de una ciencia natural dada se convierte en método de conocimiento para otro u otros dominios de la investigación científica. Los conceptos de método y de teoría son recíprocamente relativos. Un saber sistemáticamente desarrollado referido a un objeto de investigación aparece como una teoría, y esta misma teoría respecto a otra teoría especial puede convertirse en un método de investigación teórica. Esta particularidad del conocimiento científico lleva en sí la posibilidad de una peculiar ampliación. Por

ejemplo, a causa de la desigualdad con que se desarrollan las disciplinas científicas, una determinada ciencia puede destacarse y desempeñar una función básica en el sistema de un saber especial, la función de líder en todo el complejo de las disciplinas científico-naturales. El investigador, ante los éxitos de una determinada ciencia, puede sentir el deseo de incluir en la correspondiente teoría el mayor número posible de fenómenos convirtiéndola en el método más general para resolver los problemas científicos especiales. Cabe decir que en esto se manifiesta la tendencia del saber científico a la unidad metodológica.

Una unidad metodológica de este género se produjo, por ejemplo, en la historia del desarrollo de la mecánica clásica, cuyos éxitos llevaron a la convicción, en su tiempo, de que existía en principio la posibilidad de explicar todos los fenómenos de la naturaleza partiendo de las ideas básicas de la teoría del movimiento mecánico. Indicaremos asimismo que una tendencia análoga a la unidad del saber científico caracteriza también a las ciencias naturales del siglo XX. Sabido es que los éxitos de la física teórica han hecho nacer ya en nuestro siglo la esperanza de que sea posible explicar todo el conjunto de los fenómenos químicos y biológicos sobre la base de los novísimos principios de la teoría física.

Uno de estos principios fue el de complementariedad de N. Bohr. La física atómica moderna ha demostrado que la ciencia del siglo XX, a la vez que ha multiplicado nuestros conocimientos acerca de los átomos, ha descubierto la limitación de principio de la denominada representación mecánica de la naturaleza [14]. Ello no obstante, en el nuevo nivel de su desarrollo, la física una vez más aspira a ampliar la acción de sus leyes. Los clásicos de la física contemporánea han visto precisamente en la descripción complementaria, que rebasa el marco de la concepción mecánica de la naturaleza, el fundamento para extender a los procesos biológicos los nuevos principios físicos. "En este prometedor desarrollo —escribió N. Bohr en 1957— tenemos una ampliación muy importante y en esencia casi ilimitada de la esfera en que las ideas puramente físicas y químicas se aplican a los problemas biológicos" [15].

La esperanza de ampliar el campo de aplicación de las ideas puramente físicas se apoyaba en la ley natural de la propia ciencia, ley que se manifiesta en la tendencia a utilizar los métodos de una ciencia en otros campos de investigación. La ampliación metodológica de ese tipo ha dado fecundos resultados. En biología, por ejemplo, el empleo de métodos de investigación física ha sido, y sigue siendo, uno de los métodos científicos más importantes. Ha permitido descubrir nuevos principios en la conducta y en el desarrollo de los seres vivos. Recurriendo a los métodos físicos, se han investigado algunas funciones importantes y la estructura de los organismos vivos. Se ha des-

---

(14) Ver *N. Bohr*, "La física atómica y el conocimiento humano", pág. 136.

(15) *Ibíd.*, págs. 136-137.

cubierto la función capitalísima de las capas membranosas moleculares en la vida de la célula. Ello permite investigar con éxito la biofísica de las membranas. La modelación físico-matemática, en la que tanto cuentan los métodos físicos, ha hecho posible entrever aspectos importantes en la dinámica de los procesos vitales. El descubrimiento del código biogenético —uno de los descubrimientos más admirables de las ciencias naturales en la segunda mitad del siglo XX— fue el resultado de aplicar sintéticamente la física, la química y la teoría de la información al conocimiento de la esencia de la vida.

El fundamento racional de los éxitos alcanzados por los métodos científico-naturales estriba en que sólo puede extender su teoría a otras esferas del conocimiento la ciencia de la naturaleza que ha desenvuelto su sistema de leyes aplicando la matemática. La matematización de la ciencia hace que las leyes se formulen de una manera general gracias al valor general de los conceptos matemáticos. La matemática, valiéndose de su instrumental, refleja formas variadas de lo estable e invariante de la naturaleza, por lo que está en condiciones de expresar las relaciones más profundas de la realidad. Además de asegurar el carácter general de las leyes, la matemática hace posible también que se sistematice la teoría científica. Una teoría científica, al convertirse en un sistema de leyes matemáticamente expresadas, adquiere la posibilidad de rebasar el marco empírico en que inicialmente se han establecido dichas leyes.

La tendencia a la expresión matemática es típica del conocimiento científico. Se trata precisamente de una tendencia, dado que en las fases primeras de una ciencia —que pueden prolongarse durante decenios y hasta siglos— dicha tendencia no siempre se plasma en realidades y existe sólo como tal tendencia. Recuérdese al respecto la importante observación de Marx, quien consideraba, según testimonio de Lafargue, que la ciencia sólo llega a ser perfecta cuando logra emplear la matemática [16].

El proceso de matematización de la ciencia permite tan solo descubrir las leyes más fundamentales de los fenómenos que se estudian. Tres son las etapas principales que se distinguen en dicho proceso: la empírico descriptiva, la de modelación y la teórica [17]. A medida que se pasa de una etapa a otra, aumenta la posibilidad de la ampliación metodológica, la posibilidad de aplicar la ciencia dada a esferas cada vez más diversas de la investigación. Sólo adquiere ciertos motivos para pretender a una prolongación metodológica ilimitada, la teoría científica que ha alcanzado la fase teórica en el proceso de matematización. Se trata precisamente de una pretensión o tendencia. El que dicha tendencia sea realizable y en qué medida puede serlo, es ya una cuestión distinta.

Huelga decir que cada ciencia tiene sus métodos de investigación

---

(16) Ver "Recuerdos acerca de Marx y Engels", Moscú, 1956, pág. 66.

(17) Ver *I. A. Akchurin M. F. Vedenov, I. V. Sachkov*, "El valor cognoscitivo de la modelación matemática", Moscú, 1968, págs. 16-21.

específicos, cuyo carácter se halla determinado por la peculiaridad del objeto. Toda ciencia, cualquiera que sea, tiene fundamentos metodológicos determinados por el contenido de la misma. Ahora bien, el contenido de una ciencia especial se expresa ante todo en sus leyes, y las leyes, como indicaba Lenin, "constituyen UNO de los peldaños del conocimiento que adquiere el hombre sobre la *unidad* y la *conexión*, la interdependencia y la integridad del progreso universal" (18).

Por específica que sea, una ley científica es una representante de lo general. Según sea su nivel de generalización, la ley contiene en sí misma la posibilidad de que se aplique con mayor o menor amplitud. Esta posibilidad de transferir las leyes descubiertas en un campo dado de la ciencia a otros campos de investigación surge ya en las etapas empírico descriptiva y modeladora de la matematización. Además, estas posibilidades pueden resultar recíprocas en dos esferas diversas de investigación. Nos hemos referido ya al conocido hecho de que los métodos físicos son aplicables en biología, pero resulta que también algunas leyes biológicas pueden servir como método de investigación de sistemas inertes. De este modo surge la posibilidad de que aparezcan nuevas orientaciones científicas como la biónica y otras ciencias denominadas intermedias. En el caso dado, se ve que pueden hacerse confrontaciones y descubrimientos nuevos e inesperados. Ahora bien, como quiera que las leyes de una ciencia que sirvan como método científico y como instrumento de cognición en otras esferas de la naturaleza todavía se encuentran en el nivel empírico descriptivo o de modelación en lo tocante a su expresión matemática, su ampliación metodológica tiene unos límites naturales. Como hemos indicado ya, la tendencia a la unidad metodológica del conjunto de los conocimientos científicos partiendo de la aplicación de los métodos de una ciencia especial surge tan solo en la tercera etapa, la teórica, de su matematización.

La tendencia de ese tipo es sin duda alguna fecunda y no hay motivos para adoptar ante ella una postura negativa. Surge de un modo natural en una etapa determinada de la evolución de la ciencia y se reproduce como base de los éxitos y del crecimiento ilimitado de la misma. Mas, al igual que cualquier otro fenómeno, esa tendencia posee también su reverso. Si esta ampliación metodológica se lleva a cabo con todo rigor y sin limitaciones, se produce un fenómeno directamente opuesto, a saber: se limita la esfera del pensamiento científico, se inserta esta esfera en el marco metodológico de una ciencia especial. El desarrollo amplio y sistemático de semejante curso unilateral del pensamiento conduce a una metodología de tipo especial, a la metodología del positivismo, el cual, según palabras de Lenin, nace del progreso mismo de la ciencia (19). La inconsistencia científica de

---

(18) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 135.

(19) Al examinar las causas gnoseológicas que engendran el idealismo "físico", Lenin escribió: "Las tentativas reaccionarias nacen del mismo progreso de la ciencia. Los grandes avances de las ciencias naturales, la aproximación a elementos homogéneos y simples de la materia cuyas leyes de movimiento son susceptibles de una expresión

la metodología de ese género, con ínfulas de método universal del conocimiento científico, se pone de manifiesto cuando se analiza la naturaleza de dicho conocimiento, se investiga su estructura y se estudian las leyes de su desenvolvimiento. Cierto, la ampliación metodológica por sí misma no conduce automáticamente a las concepciones positivistas. De otro modo, habríamos observado la aparición de tales concepciones ya en los siglos XVII y XVIII. Para que se produzca ese fenómeno se requieren además otras condiciones que se encuentran en las particularidades de desarrollo de las ideas propiamente filosóficas. Las concepciones de este género surgen como especial resultado de ese proceso de ampliación metodológica y son una prueba de la crisis del método mecanicista.

Es de suma importancia tener en cuenta, en relación con el tema de nuestro artículo, que los éxitos indiscutibles que se han obtenido aplicando, por ejemplo, los métodos físicos de investigación a los fenómenos de la vida, van acompañados en algunos casos de tales dificultades que inducen a buscar nuevos métodos para resolver los problemas aparecidos. N. Bohr, quien hablaba, como hemos visto, de ampliar sin límites la esfera de aplicación de las ideas físicas a los procesos biológicos, subrayaba, en la misma conferencia pronunciada en 1957, que "el cómputo absoluto, en el sentido de la física cuántica, de todos los átomos del organismo vivo en incesante intercambio no sólo resulta imposible, sino que, por lo visto, requeriría condiciones de observación incompatibles con la manifestación de la vida" (20).

Se pone aquí de manifiesto una dialéctica sui generis propia a la interacción de las diversas ciencias en su tendencia al examen sintético del objeto de investigación. En el presente caso, la "expansión metodológica" de la física se encuentra con el hecho de la aplicación limitada de ciertos conceptos, con la necesidad de unir sintéticamente conceptos antes independientes. Ahora bien, las uniones de tal género requieren nuevas ideas, nuevos conceptos que conducen, en última instancia, a nuevas concepciones teóricas. Se trata precisamente de la búsqueda de nuevas ideas, de nuevos principios generales de investigación. Desde luego, en el caso dado queda por completo excluida la vuelta, en la forma que fuese, a las tentativas rechazadas hace tiempo de resolver esos problemas a un nivel descriptivo, puramente cualitativo. Pero, ¿dónde buscar esos nuevos principios y esas nuevas ideas indispensables para formar una nueva teoría científica? De los hechos de la experiencia tomados por sí mismos es imposible extraer nuevas ideas. Ahí no se dan. Los hechos nuevos, los resultados inesperados de los experimentos pueden servir de importantísima condición necesaria en tanto que estímulo del pensamiento creador de quien investigue. Mas no contienen premisas suficientes para la formulación de nuevos principios.

---

matemática, hacen olvidar la materia a los matemáticos" (*V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 326. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., págs. 343-344).

(20) *N. Bohr*, "La física atómica y el conocimiento humano", pág. 137.

Es aquí precisamente donde surge la necesidad de una esfera de conocimientos más amplia, que encierre en sí no sólo la dilatada área de las ciencias especiales, sino que incluya, además, otros elementos del saber. Al examinarlos, no sólo vemos en su ámbito diversos sistemas teóricos, sino que apreciamos, además, conceptos fundamentales de un género peculiar, los cuales, al surgir en el marco de una ciencia particular cualquiera, adquieren una tendencia a la generalización, a rebasar los límites de la teoría especial dada.

La unidad conceptual del conocimiento científico

Los conceptos fundamentales de cualquier teoría científica especial, dado que entran en los principios de la teoría y son inseparables de ellos, no sólo pertenecen a la teoría dada, sino, además, a un sistema más amplio del saber. Las nociones básicas de la geometría, por ejemplo, además de pertenecer a esta ciencia, forman parte de un sistema más amplio del saber matemático y lógico. Mediante los conceptos fundamentales, la teoría científica dada recibe su propia fundamentación y, al mismo tiempo, se enlaza con ese sistema general. El conjunto de tales conceptos forma en el interior de todo el sistema del conocimiento científico una estructura conceptual peculiar. "Todo concepto —escribió Lenin— se halla en cierta RELACIÓN, en cierta conexión *con todos* los demás" [21]. El nacimiento de una nueva teoría científica va precedido de un análisis crítico de los conceptos fundamentales existentes, de cada uno en particular y de las relaciones de todos ellos con otros conceptos. Y aunque dicho análisis puede resultar sugerido por nuevos hechos experimentales, no por ello con los hechos tomados por sí mismos pueden formarse nuevos conceptos. "...La experiencia es siempre inacabada" [22], decía Lenin. La posibilidad aludida surge como consecuencia del análisis crítico de la estructura conceptual que existe no sólo en la teoría científica dada. En tal análisis se hace participar, de uno u otro modo, toda la estructura del conocimiento científico. Únicamente un análisis de ese tipo conduce a nuevos conceptos.

Hoy, en distintas esferas de las ciencias naturales, encuentran aplicación tales nociones, por ejemplo, como las de "probabilidad", "simetría" y "estructura". La probabilidad, surgida inicialmente como concepto matemático, ha encontrado amplia aplicación en distintos campos de la ciencia. Conocido es el fecundo papel del concepto de probabilidad en la termodinámica clásica y en la física estadística. La interpretación probabilística de los fenómenos cuánticos se hallaba ligada a los sensibles éxitos alcanzados en el conocimiento de los procesos intraatómicos. En la teoría de la información, ese concepto clásico ha adquirido una aplicación nueva, todavía más amplia y diversa. Actualmente se hace singularmente clara la función conexiva y unificadora del concepto de probabilidad, concepto que permite, en

(21) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 179.
(22) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 162.

particular, formular leyes en aquellas zonas de fenómenos en que se dan procesos casuales o estocásticos. Y los procesos de este género se dan en todas las esferas conocidas de la realidad, incluyendo los fenómenos sociales.

El concepto de simetría, en cierto sentido material, es opuesto al de probabilidad. No obstante, junto a otros conceptos científicos generales, sirve asimismo de unidad conceptual del saber científico. Completando la imagen probabilística del mundo, el concepto de simetría refleja, en esta imagen, las facetas de lo unívoco, de lo que se conserva, de lo estable. El proceso de nacimiento del concepto de simetría nos conduce a los orígenes del saber científico. Ese concepto surgió en relación con la idea general de orden, de armonía y de ley de la naturaleza. En un principio se entendía como ley puramente geométrica y después como ley también puramente matemática, tomando la forma ora de justa proporción, ora de acertada disposición de las partes en un todo, ora de simetría espejada de las figuras.

La investigación del movimiento de los cuerpos en el espacio y en el tiempo condujo gradualmente a ampliar el concepto de simetría, el cual empieza a adquirir un significado que rebasa en mucho el marco de las investigaciones estrictamente geométricas. El concepto de simetría se convierte en procedimiento teórico para el estudio de la estructura del espacio y después también de las propiedades esenciales de los objetos materiales. Resulta que las leyes básicas de los fenómenos físicos están en íntima conexión con las propiedades de la simetría del espacio y del tiempo. El concepto de transformación, según el cual ciertas propiedades o relaciones permanecen invariables dados los correspondientes movimientos, se convierte en procedimiento para representar las leyes físicas. El movimiento uniforme en un espacio homogéneo no modifica las leyes de la naturaleza, y este simple hecho es expresión de la simetría, que resulta vinculada a la conocida ley de la conservación del impulso. La homogeneidad del tiempo como propiedad especial de su simetría se halla en profunda conexión con la ley de la conservación de la energía. El concepto de simetría adquiere amplio sentido, el cual puede expresarse brevemente como unidad integral de los elementos, que se conservan y se transforman, de la naturaleza y del conocimiento. Dicho concepto puede hacerse extensible no sólo a los objetos mismos de la ciencia, sino, además, a sus leyes como elementos de la estructura de la teoría. Con ello, la simetría se convierte en un principio de la unidad del propio conocimiento científico.

La novísima física de las altas energías que investiga el fundamento de la materia, introduce el concepto de simetrías dinámicas. Sabido es que la síntesis de los conocimientos contemporáneos fundada en la aplicación del concepto de simetría en el dominio de la física de las partículas elementales ha conducido a predecir nuevos fenómenos. El descubrimiento de la alteración de la simetría de la derecha y de la izquierda en el área de las interacciones débiles de las partículas elementales ha dado pie para introducir nuevas sime-

trías, las denominadas simetrías combinadas. En general, toda alteración de la simetría resulta vinculada, de uno u otro modo, al paso a un nuevo tipo de simetría.

Comprender la necesidad del concepto de simetría en la estructura de una teoría científica especial presupone la elaboración del concepto general de simetría. Utilizar el concepto de simetría para descubrir y formular los principios que rigen la estructura de un sistema de leyes en un terreno científico especial requiere que se investigue no ya el principio general de simetría, sino, además, el de sus formas específicas. "...Lo singular no existe más que en la conexión que conduce a lo general"[23]. Cuando se investigan manifestaciones singulares de la simetría, el conocimiento asciende a lo general, que existe en lo singular y a través de lo singular. Lo general puede convertirse, y se convierte, en objeto de análisis teórico independiente. Los resultados de semejante análisis adquieren valor metodológico, dado que el concepto general de simetría concatena los diversos campos especiales de la ciencia y abre la posibilidad de que éstos se influyan recíprocamente, de que actúen unos sobre otros. Y la interacción de ese tipo lleva en sí la posibilidad de que surjan nuevas ideas y se obtengan nuevos éxitos teóricos.

La teoría científica contiene, en su desarrollo, dos tendencias contradictorias: una se orienta hacia la perfección y la armonía lógica; la otra, responde a una necesidad de proseguir el desarrollo, de salir de los límites de un sistema riguroso. La estabilidad y, al mismo tiempo, la variabilidad de un sistema teórico forman en su unidad una de las particularidades más importantes del conocimiento científico. La estabilidad de un sistema teórico se asegura con el carácter fundamental de sus conceptos de partida. Tales conceptos, en una teoría axiomatizada, están incluidos en un sistema de axiomas, o de principios, que han de satisfacer la exigencia de plenitud e independencia. La independencia de los principios, es decir, la imposibilidad de inferir de otros principios cualquiera de ellos, es una indicación del carácter no contradictorio (en el sentido formal) del sistema teórico.

Es esencial subrayar que, por sí misma, la axiomatización de una teoría determinada no puede servir de medio heurístico del conocer. Importa mucho, en este aspecto, la búsqueda de distintos sistemas y el descubrimiento de sus relaciones recíprocas. Un conocido grupo de matemáticos franceses (cuyo seudónimo colectivo es el de Nicolás Bourbaki) indica que la regulación lógica relacionada con la axiomatización, sólo constituye una de las partes de esta última, la menos interesante por añadidura. Ahí donde a primera vista se percibe únicamente la diferencia de dos o varias teorías, "el método axiomático nos enseña... a hallar las ideas generales que se esconden tras los detalles, ideas inherentes a cada una de las teorías examinadas, a extraer dichas ideas y a someterlas a investigación" [24]. En esta par-

---

(23) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 318.

(24) *N. Bourbaki*, "Ensayos sobre historia de la matemática", Moscú 1963, pág. 248.

ticularidad de la interpretación de las teorías axiomáticas cabe ver una manifestación del principio de interacción de los elementos del saber. Es necesario descubrir la unidad de la teoría física en la vía de su axiomatización. Ahora bien, si ésta se aplica con todo rigor, se descubren contradicciones internas que, en calidad de interacción de los elementos del conocimiento físico, sirven de estímulo interno para el desarrollo de la teoría.

La tendencia a axiomatizar determinadas ramas de la ciencia pone de manifiesto su matematización, proceso que, como ya hemos indicado, constituye una de las particularidades esenciales de las ciencias naturales de nuestra época. Esta particularidad, como todas las demás, está contenida en la naturaleza misma de la ciencia. Ya en los estadios iniciales del desenvolvimiento de las ciencias de la naturaleza se observa esa propensión a utilizar la matemática. Newton, siguiendo el ideal de los *Elementos* de Euclides, construye según el método axiomático sus *Principios matemáticos de filosofía natural*. Semejante construcción del sistema teórico en el dominio de las teorías físicas se denominó método de los principios. Con frecuencia, la física de los principios se contraponía a la física de las hipótesis.

Serguéi I. Vavílov demostró que esta oposición carece de fundamento [25]. En las ciencias naturales, el método de los principios, como variedad del método axiomático, no excluye el método de las hipótesis, sino que lo presupone. Es más, sin conjeturas hipotéticas sería imposible construir un sistema deductivo en las ciencias naturales. La cuestión está en que en la construcción de un sistema axiomático en el dominio especial de estas ciencias, el problema esencial consiste en elegir los conceptos de partida, es decir, fundamentales. En tal elección lo que resulta más esencial son precisamente las construcciones hipotéticas. Además, las hipótesis no pueden fundamentarse en el marco del sistema dado. La fundamentación contiene necesariamente argumentos filosóficos. A diferencia de la axiomatización en el campo de la matemática, el método de los principios en las ciencias naturales presupone que la elección de los conceptos de partida no tiene un carácter arbitrario, no se basa, digamos, en el criterio de la evidencia, sino que se fundamenta en el desarrollo precedente de las ciencias naturales y de la filosofía.

Lenin subrayaba que los conocimientos acerca de las propiedades concretas de la materia pueden cambiar y envejecer, pero lo que no puede envejecer es el clásico problema filosófico de la relación entre la materia y el pensamiento. Todo nuevo paso en el avance de las ciencias naturales configura de manera distinta este problema filosófico y nos enriquece con nuevos argumentos, mas el problema en sí y su solución acertada desde el punto de vista de principio, siguen siendo materialistas. Al tratar la cuestión del espacio y del tiempo, Lenin señala, por ejemplo, la "distinción entre la relatividad de nuestros conceptos del tiempo y del espacio y la oposición *absoluta* de la línea materialista y de la línea idealista en los límites de la gnoseo-

(25) Ver *S. I. Vavílov*, "Obras", t. III, pág. 383.

logía..." [26]. Puede decirse que la filosofía, investiga problemas eternos y permanentes por su sentido, enriqueciendo su solución con los resultados de las ciencias especiales en cada época histórica dada. Ello hace que el fundamento de los principios de partida de una teoría científico-natural pueda llegar a ser convincente, mientras que el sistema teórico erigido sobre principios de este género se encierra en sí mismo, no es una construcción arbitraria, y proporciona un conocimiento objetivo. Los principios de partida de un sistema deductivo en las ciencias naturales no son arbitrarios. De uno u otro modo, siempre se apoyan en la experiencia multisecular del conocimiento humano, generalizado en las concepciones filosóficas de la época y en la generalización inmediata de nuevos hechos.

No es posible buscar y formular los principios básicos de una teoría científica sin analizar a fondo los conceptos de partida. Esta etapa difícil e importante en el desarrollo de la ciencia, etapa de la formación de nuevos conceptos, se controla con los principios sumamente generales del conocimiento. Estos principios son precisamente las leyes del pensar dialéctico que se enriquecen y se perfeccionan a medida que van progresando las ciencias naturales. Los conceptos básicos encierran en sí mismos profundas contradicciones, pues se encuentran en el límite entre el sistema teórico dado y el que se crea. Al formular los principios de partida es importante hallar el concepto elemental, como si dijéramos la célula inicial de la teoría en formación. Este concepto inicial sirve de base para la ascensión inductiva hacia los principios. Sin embargo, ninguna inducción es capaz de proporcionar principios generales si no recurrimos al examen material y no nos damos cuenta de que un conjunto de objetos elementales, más tarde o más temprano, conduce a una nueva cualidad. Si examinamos por fin cómo se constituyen los conceptos fundamentales de una teoría veremos que ideas inicialmente vagas se van convirtiendo, a medida que se desarrollan, en conceptos rigurosamente determinados que superan la vaguedad primera. Sin embargo, el análisis obliga luego a recurrir a las ideas iniciales en las que encuentra, sobre una nueva base, la confirmación material y el desarrollo de los conceptos, limitados en su formalismo.

La función metodológica de la filosofía, realizando la unidad del conocimiento científico, se revela en distintas formas, ante todo en el análisis de los conceptos cardinales de la ciencia, sin los cuales es imposible elaborar el sistema teórico de ninguna ciencia especial. El arte de operar con conceptos, como subrayaban los clásicos del marxismo-leninismo, lo proporciona ante todo el estudio de la filosofía.

---

(26) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 193. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 200).

SEGUNDA PARTE

PROBLEMAS FILOSÓFICOS Y METODOLÓGICOS DE LAS CIENCIAS FÍSICAS

M. E. OMELIÁNOVSKI
Miembro correspondiente de la Academia de Ciencias
de la U.R.S.S.

LENIN Y LA DIALÉCTICA EN LA FÍSICA CONTEMPORÁNEA

Sobre la dialéctica en las ciencias naturales

En la historia de la ciencia —ante todo de la filosofía y de las ciencias naturales— Marx y Engels fueron los primeros pensadores que unieron la dialéctica consciente a la concepción materialista de la naturaleza. No podía ser de otro modo: el marxismo, esta gran doctrina revolucionaria de la clase obrera y de los trabajadores de todo el mundo, se desarrolló en la época de los descollantes resultados de las ciencias naturales en la segunda mitad del siglo XIX; Marx y Engels investigaron profundamente desde el punto de vista de su teoría los problemas esenciales de las ciencias de la naturaleza y dieron respuesta a las cuestiones filosóficas que éstas planteaban en aquel entonces.

Las tradiciones de Marx y Engels las continuó Lenin. En su famoso libro *Materialismo y empiriocriticismo* (1909), generalizó Lenin, partiendo del materialismo dialéctico, los magnos descubrimientos de la física de finales del siglo pasado y comienzos del actual, mostrando la esencia filosófica de la novísima revolución en las ciencias naturales. Ahora hablamos con pleno derecho de la unidad interna del materialismo dialéctico y de la ciencia de nuestro siglo. Semejante unidad constituye un hecho significativo de la cultura del siglo XX, y a su realización han contribuido de manera decisiva el medio siglo de progresos del País Soviético y la victoria del socialismo en otros países.

El genio de Lenin brillaba con una enorme multiplicidad de facetas. Al hacer avanzar el marxismo y su filosofía en un período histórico distinto de aquel en que Marx y Engels habían creado su doctrina, Lenin enriqueció también las bases filosóficas de las ciencias naturales con nuevas e importantes tesis y conclusiones, con cuyo

valor para el desarrollo de la ciencia no puede compararse ningún sistema filosófico.

Lenin no expuso sus ideas sobre la revolución de las ciencias naturales del siglo XX sólo en su libro *Materialismo y empiriocriticismo*. Las generalizaciones filosóficas de dicha revolución y los problemas filosóficos que la nueva física planteaba recababan su más viva atención [1]. En este sentido, resultan esenciales sus *Cuadernos filosóficos* (1914-1916). El tema cardinal de este admirable trabajo —la teoría de la dialéctica materialista —se halla indisolublemente unido a las generalizaciones y conclusiones filosóficas de las ciencias naturales contemporáneas, y Lenin insiste en ello más de una vez.

Sus últimas líneas acerca de las cuestiones filosóficas de las ciencias naturales de nuestra época, las escribió Lenin en el artículo *Sobre el significado del materialismo militante* (1922), en el cual, entre las tareas planteadas a los filósofos marxistas, se asigna un lugar de suma importancia a la de la alianza con los representantes de las ciencias naturales de nuestro tiempo tomando por base el materialismo dialéctico. Desde entonces han transcurrido muchos años plenos de colosales transformaciones sociales, técnicas y científicas; las ciencias naturales en su totalidad y especialmente la física han cambiado y han progresado de manera extraordinaria. Mas las ideas de Lenin acerca del materialismo dialéctico como única filosofía justa y único método acertado de las ciencias naturales contemporáneas, acerca de las conclusiones filosóficas de la nueva física, acerca de las bases filosóficas y de las perspectivas de su desarrollo, acerca de la esencia y el significado del idealismo "físico", no han perdido ni en la actualidad su enorme valor teórico. Se encuentran en el fundamento de todo el trabajo en el dominio de las investigaciones marxistas sobre los problemas filosóficos de la física y de las ciencias naturales, y las estimulan.

¿Qué es, por su esencia, la física actual o, como se dice, la física no clásica? Es la física relativista y cuántica junto con la física de las partículas elementales, surgida de la primera. Con sus descubrimientos y teorías, la física no clásica ha demolido los conceptos y principios fundamentales de la física clásica, que parecían intangibles desde el momento de su aparición. Han sido objeto, estos conceptos y principios, de una transformación revolucionaria y se han convertido en casos límite de conceptos y tesis nuevos, más profundos y generales, de la teoría de la relatividad y de la teoría cuántica, que distan mucho de poseer la habitual evidencia de las representaciones clásicas. Con ello las teorías no clásicas han dado origen, en la física, a nuevos enfoques metodológicos y a un nuevo estilo del pensar.

---

(1) Ver, por ejemplo, las notas y observaciones de Lenin sobre los libros científicos por él leídos ("Obras", t. XXIX, pág. 318-358, 475-525), el artículo "En memoria de Herzen" ("Obras", t. XXI; "Obras escogidas en tres tomos", edic. cit., t. I, págs. 607-612); el comentario sobre el significado del descubrimiento del radio y del electrón en carta de Lenin a Gorki (1913) ("Obras", t. XLVIII pág. 161), y el artículo "Tres fuentes y tres partes integrantes del marxismo" ("Obras", t. XXIII; "Obras escogidas en tres tomos", edic. cit., t. I, págs. 61-65).

Hay un hecho característico de la física actual, interiormente vinculado a los procedimientos metodológicos que le son inherentes. En ella se han vuelto a plantear, de manera original y totalmente inesperada desde el punto de vista de las concepciones establecidas, los problemas de la realidad y de la materia, del tiempo y del espacio, de lo absoluto y lo relativo, de la conexión causal y de la ley, problemas que parecían resueltos por la filosofía tradicional. Los sistemas lógicos formales no podían (ni pueden) resolver los problemas que planteaba (y plantea) a la lógica el desarrollo de la física no clásica.

Ahora los marxistas saben bien que los problemas de este género puede resolverlos, y realmente los resuelve, el materialismo dialéctico —así lo demuestra el desarrollo de la física no clásica—. Pero fue Lenin quien halló por primera vez el hondo fundamento de esta verdad. Fue precisamente él quien expuso y demostró la tesis, hoy ampliamente conocida: "La física contemporánea está dando a luz. Da a luz el materialismo dialéctico".

Los fenómenos y hechos, como el del electrón y el de la radiactividad (con su descubrimiento se inicia la física no clásica), que no se ajustaban a los esquemas y teorías de la física clásica, así como las situaciones paradójicas que se sucedían una tras otra dado el vertiginoso progreso de las ciencias naturales de nuestro tiempo, situaciones análogas a la que se produjo después del experimento de Michelson o, digamos, después de que apareciera la hipótesis cuántica de Planck, conducían inevitablemente a ideas y teorías no clásicas en física, y con ellas a concepciones y enfoques de carácter filosófico y metodológico inconcebibles en las ciencias naturales clásicas.

¿No resulta absurda la combinación de partículas discontinuas y de ondas continuas como de ello trata la mecánica cuántica? ¿Cómo comprender la transformación de las partículas de sustancia en luz y de luz en sustancia, fenómenos de los que se habla en la electrodinámica cuántica? ¿Qué significa la fusión del tiempo y del espacio en algo único en la teoría de la relatividad? ¿Cómo concebir la transformabilidad mutua de las partículas elementales (que se hallan en la base de toda la materia conocida) a que se hace referencia en la teoría de dichas partículas?

Esas tesis son tan cortas como inmenso es su contenido. La naturaleza ha resultado muy distinta del mundo que se figuraba la física clásica, surgida de la experiencia cotidiana y referida a los fenómenos macroscópicos. La física actual supera la unilateralidad y la tosquedad del conocimiento que le son propias al nivel de la experiencia corriente. La física no clásica generaliza la experiencia que atañe a los fenómenos electromagnéticos más sutiles, a los mundos atómico y subatómico, a los grandiosos fenómenos a escala de los sistemas estelares y de las galaxias, profundamente distintos del mundo macroscópico, si bien están relacionados con él por muchos elementos de transición. Por esto, precisamente, la física no clásica ha dado origen a teorías "insólitas" (Lenin) y a ideas "insensatas" (N. Bohr) que reflejan la naturaleza objetiva de manera más profunda, más completa y más fiel que las teorías de la física clásica. Se hizo necesario

reflejar las leyes omnifacéticas y universales de la naturaleza en conceptos que deben ser, según palabras de Lenin, "flexibles, cambiantes, relativos, interconexionados, unidos en sus contrarios con objeto de abarcar el mundo" [2]. Sólo el materialismo dialéctico estaba en condiciones de llevar a cabo semejante tarea.

Las ideas científicas de carácter dialéctico, en la época moderna de la física, surgen y se afirman dentro de esta propia ciencia, facilitando su progreso. En las teorías de la física de nuestra época es muy representativa la idea de variabilidad y conversión recíproca de todas las realidades materiales, incluidas las partículas elementales. Admitir que son inseparables las representaciones opuestas de la materia, corpusculares y ondulatorias, constituye un elemento necesario de la física cuántica. Sin aceptar la idea de la conexión internamente necesaria de los conceptos espaciales y temporales no existiría la teoría de la relatividad. La propia física no clásica se desenvuelve de suerte que en ella conceptos, tesis y teorías diversos y contrapuestos se unen en nuevas formaciones sintéticas que incluyen en su contenido los resultados científicos de las estructuras teóricas que se unen. Éstas y otras particularidades análogas de la física actual significan, en esencia, que dicha disciplina está llegando al materialismo dialéctico, que la aplicación consciente de la dialéctica en física constituye una necesidad inmediata.

No cabe pasar por alto la circunstancia de que sobre la dialéctica (y sus principios) se manifiestan sin utilizar dicho término (cierto es que hay excepciones) los propios científicos que han colocado las piedras sillares de la física no clásica. Sabido es, por ejemplo, que Bohr en la discusión con Einstein sobre los problemas de la teoría del conocimiento en la física atómica hablaba de "profundas verdades" que constituyen afirmaciones de tal naturaleza que "las opuestas a ellas también contienen una verdad profunda" [3]. En las publicaciones a menudo se habla de que Einstein se mostró disconforme con las concepciones de Bohr sobre la mecánica cuántica, pero de que Einstein hiciera hincapié en el gran valor que tenía para la física la unión de las ideas corpusculares y ondulatorias —esencial precisamente para la teoría cuántica— se habla menos.

Si nos dirigimos, pongamos por caso, al destacado físico alemán M. Born, veremos que estimaba acertada la interpretación de la mecánica cuántica que aspiraba, según la afirmación de este científico, a "conciliar ambos aspectos de los fenómenos, las ondas y las partículas". Entendía Born que una aplicación más amplia del concepto de partícula en la mecánica cuántica estaba obligada a satisfacer dos condiciones: en primer lugar, la noción de partícula aceptada en la teoría clásica ha de constituir un caso límite del nuevo concepto, y en segundo lugar este último ha de conservar algunos rasgos esenciales (aunque no todos) de la noción clásica [4].

---

(2) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 131.

(3) *N. Bohr*, "La física atómica y el conocimiento humano", pág. 93.

(4) Ver *M. Born*, "La física en la vida de mi generación", págs. 259-260.

Ahora bien, la dialéctica sin una base filosófica consciente, como en general el materialismo espontáneo —muchas veces alude Lenin a este particular [5]— no basta para resolver los problemas filosóficos de la ciencia. Los filósofos reaccionarios captan sus puntos vulnerables, por ejemplo la falta de capacidad para descubrir la contradicción dialéctica o explicar la relación entre la verdad absoluta y la verdad relativa, y los aprovechan para combatir el materialismo. Tan solo la aplicación consciente de la dialéctica materialista libera realmente al científico de toda unilateralidad y de las opiniones preconcebidas al analizar los problemas filosóficos de las ciencias naturales, y abre una perspectiva certera a la búsqueda de sus soluciones.

La verdad de todo esto se pondrá de manifiesto de manera más concreta en la exposición ulterior; aquí nos limitaremos a aducir, en relación con el problema que examinamos, algunas observaciones del científico soviético P. Kapitsa. A juicio de Kapitsa, el físico, en sus métodos de estudio de la naturaleza, ha de atenerse a los principios siguientes: el fenómeno ha de comprenderse partiendo del fenómeno mismo; en la investigación de los fenómenos, el papel determinante corresponde al experimento; para el desarrollo armónico de la ciencia, ha de haber unidad entre la teoría y el experimento; ha de mantenerse una actitud negativa ante todo dogma en la ciencia, que requiere necesariamente nuevas ideas (basadas en experimentos); se ha de admitir que la materia es inagotable [6]. En estos principios queda expresado con toda claridad y con singular relieve el espíritu materialista y dialéctico de la física contemporánea.

Como ya hemos indicado, la nueva física ha planteado de manera muy original y del todo inesperada desde el punto de vista de las representaciones tradicionales, problemas que parecían resueltos sobre la filosofía y la lógica de las ciencias naturales. Nosotros nos circunscribiremos a analizar el problema de la realidad objetiva en la física actual y la idea —estrechamente unida al problema indicado— de la contradicción dialéctica, en torno a los cuales se libra una lucha singularmente aguda entre el materialismo dialéctico y otras corrientes filosóficas.

El problema de la realidad objetiva

Este problema atrajo siempre la atención de Planck, de Einstein, de Bohr y de otros grandes transformadores de las ciencias naturales, según expresión de Lenin. Le consagró, en particular, uno de sus últimos trabajos M. Born: *Símbolo y realidad* (trabajo bastante característico por lo que respecta a la posición filosófica de los naturalistas de hoy en el Occidente) [7]. El problema de la realidad objetiva

---

(5) Ver *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, págs. 296-297. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., págs. 310-311).

(6) Ver *P. L. Kapitsa*, "Una vida consagrada a la ciencia", Moscú, 1965.

(7) *M. Born*, "Symbol und Wirklichkeit". "Physikalische Blätter", 1964, H. 12; 1965, H. 2, 3.

en sus distintos aspectos también lo han analizado físicos que mantienen conscientemente la línea del materialismo dialéctico [8].

Recordemos algunas definiciones e intentemos formular el problema mismo. "La realidad objetiva" o "lo objetivo" o "lo que existe objetivamente" es "lo que existe independientemente de la conciencia humana y (en determinadas condiciones) se refleja en ella". En contraposición a lo objetivo, lo "subjetivo" es "lo que existe en la conciencia". El concepto de lo objetivo —se trata de la posición de la filosofía materialista— equivale, en lo que atañe a la teoría del conocimiento, al concepto de materia. Lenin escribió que "la noción de la materia... no significa en gnoseología *más* que *esto*: la realidad objetiva, existente independientemente de la conciencia humana y reflejada por ésta" [9]. De acuerdo con semejante concepción (materialista) de lo objetivo y de lo subjetivo, el conocimiento es un proceso en virtud del cual el mundo, que tiene una realidad objetiva, se refleja en la conciencia del hombre. Éste, creando conceptos, teorías y una imagen del mundo, capta a través de ellos de manera aproximada y relativa la ley universal de la materia en perpetuo movimiento y desarrollo.

En física —ya en su período clásico— surgió un problema filosófico: ¿tienen realmente valor objetivo sus afirmaciones (expresadas mediante fórmulas matemáticas)?, ¿cómo se ve con evidencia que las afirmaciones físicas no son construcciones subjetivas?, ¿cómo se alcanza el conocimiento objetivo? Tal es, precisamente, el problema de la realidad objetiva en física expresado en su forma más general.

En las ciencias naturales clásicas, la solución de este problema parecía bastante sencilla, aunque no faltaban las dificultades. La mayoría de los científicos de los siglos XVIII-XIX —como ocurre también en nuestra época— no se devanaban los sesos con "sutilezas filosóficas". Para ellos, el reconocimiento de la realidad objetiva del mundo exterior que se refleja en la conciencia humana era algo que se daba por sobreentendido. Los fenómenos que se observaban explicábanse a partir de un modelo mecánico macroscópico. Los movimientos de los cuerpos macroscópicos (incluidos los celestes entonces conocidos) son relativamente sencillos, y para observarlos no se necesitan

---

(8) Ver *A. D. Alexándrov*, "Sobre el sentido de la función de onda". "Informes de la Academia de Ciencias de la U.R.S.S.", 1952, t. LXXXV, Nº 2; *D. I. Blojintsev*, "Fundamentos de la mecánica cuántica", Moscú-Leningrado, 1949; *Del mismo autor*, "Crítica de la concepción idealista en la mecánica cuántica". "Éxitos de las ciencias físicas", 1951, t. XLV, fasc. 2; *S. I. Vavílov*, "El desarrollo de la idea de substancia". "Obras", t. III; ver asimismo sus otros trabajos dedicados a las cuestiones filosóficas de las ciencias naturales; *V. A. Fok*, "Sobre la interpretación de la mecánica cuántica". "Problemas filosóficos de la física contemporánea", Moscú, 1959; *Del mismo autor*, "La física cuántica y la estructura de la materia". "Estructura y formas de la materia", Moscú 1967; "Problemas filosóficos de las ciencias naturales en la actualidad. Trabajos de la Conferencia de toda la Unión sobre las cuestiones filosóficas de las ciencias naturales", Moscú, 1959.

(9) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 276. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 289).

aparatos especiales excesivamente complicados. Los conceptos que expresan las propiedades mensurables de tales fenómenos (velocidad, aceleración, fuerza, etc.) no distan mucho, por su grado de abstracción, de las representaciones elaboradas en la experiencia cotidiana.

Por otra parte, la teoría clásica no podía dejar de lado el problema de la realidad objetiva. ¿Cómo puedo yo saber que el "verde" que estoy viendo es el mismo "verde" que ve usted, que ve él y que ve cualquier observador? Éste es un ejemplo tomado de la vida cotidiana, pero la física clásica se formó partiendo directamente de la vida de todos los días, y empezaremos nuestro análisis con ese ejemplo.

El problema planteado es, en puridad, el de si la sensación de "verde" corresponde a algo objetivo. En el quehacer práctico del hombre, se resuelve positivamente: imaginémonos a un conductor de automóvil daltónico y la respuesta se nos da por sí misma. Es más, la circunstancia de que tenemos noción del daltonismo y en cierta medida podemos soslayar sus particularidades indeseables, no hace más que confirmar el hecho de que la sensación de "verde" responde a la realidad objetiva.

Del análisis de los casos de tal género —en lo tocante al problema de la realidad— no se diferencia en esencia el análisis del proceso de medición y del experimento en general cuyo objetivo inmediato estriba en fijar parámetros macroscópicos. Todas las teorías físicas, tanto clásicas como no clásicas, surgen de las mediciones y de los experimentos a través del estudio y de la meditación (cuando se va haciendo cada vez mayor la potencia cognoscitiva de la fuerza de abstracción). Si generalizamos lo que hemos dicho teniendo en cuenta los datos de los campos más diversos de la ciencia y de la práctica, llegamos a las conocidas premisas del materialismo (formuladas por Lenin con clásica nitidez): la única fuente de nuestros conocimientos está en las sensaciones; la realidad objetiva es la fuente de las sensaciones humanas, o lo que de hecho es lo mismo: el mundo exterior, cognoscible, existe independientemente de la conciencia del hombre [10].

Born, en el trabajo que hemos citado más arriba, se muestra disconforme con esta tesis fundamental de la teoría marxista del conocimiento. Sus objeciones no afectan a la esencia de la tesis. Al contrario, Born somete a examen crítico el idealismo y el apriorismo, especialmente las concepciones de Kant, de los partidarios de Mach y de los positivistas lógicos. Pero no considera demostrada la tesis de Lenin y pretende proporcionar una base sólida a la posición que defiende apoyándose, a su entender, en la física contemporánea (su trabajo lleva un subtítulo característico: "Ensayo filosófico a la manera científico-natural, pero no filosofía de las ciencias naturales"). ¿Está en lo cierto, Born?

Según Born, la imposibilidad de resolver el problema de si el "verde" que veo yo es el mismo "verde" que ve él radica en que lo

---

(10) Ver *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, págs. 127-128. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 131).

que se intenta es "explicarse respecto a una impresión sensorial única". En realidad, semejante "explicación" es imposible, y Born encuentra la solución en lo siguiente. "Ya cuando son dos las impresiones de un mismo órgano de los sentidos, por ejemplo de dos colores —escribe— se da una manifestación comunicable... comprobable objetivamente, que se apoya en una comparación, ante todo en un juicio acerca de la identidad o no identidad (mejor dicho, acerca de la indiferenciación o diferenciación...). Yo no puedo decir a otro lo que siento cuando denomino verde una cosa, mas puedo comprobar —y también él puede hacerlo— que cuando el verde de dos hojas me parece idéntico, parece asimismo idéntico al otro" (11).

En el fondo, Born sostiene aquí la idea de que el conocimiento objetivo menos que algo a lo que responde una realidad objetiva es algo que tiene significado para todos. Después de la crítica que hizo Lenin de las concepciones de Bogdánov, quien definía lo objetivo como lo que tenía un significado para todos, no hay necesidad de examinar la idea errónea de Born. Por otra parte, Born necesita el ejemplo del "verde" para llamar la atención sobre la idea de invariancia, cuya aplicación, a su entender, permite resolver el problema de cómo se pasa del conocimiento subjetivo al objetivo (Born expuso más detenidamente sus consideraciones sobre el particular en otras obras suyas) (12). En este plano, la idea de invariancia ofrece gran interés, mas antes de ocuparnos de ella vamos a examinar si realmente la afirmación de Lenin aducida más arriba acerca de la premisa básica de la teoría materialista del conocimiento no está demostrada, como supone Born.

Al abordar el problema de cómo se pasa del conocimiento subjetivo al objetivo Born no vio otro que le antecede y que concierne a la fuente de la subjetividad, o sea, el problema de que la realidad objetiva constituye la fuente de las sensaciones humanas (y, por ende, de la subjetividad). Podemos leer en Born: "Desde nuestro punto de vista, que estima la subjetividad como lo primario y la posibilidad de las enunciaciones objetivas como problema..." (13). Esta idea de Born no diverge de las ciencias naturales tan solo si no se separa de la idea de que es la realidad objetiva la que engendra la "subjetividad" misma, pero en Born no encontramos expuesta con claridad esta última idea. Dicho en breves palabras: Born eludió en sus razonamientos el problema básico de la filosofía (mejor dicho, su primera parte), el de la relación de la conciencia con la materia, y la solución que el materialismo le da. En la obra de Lenin *Materialismo y empiriocriticismo* (en el primer apartado, titulado *¿Qué es la materia? ¿Qué es la experiencia?*, del capítulo III) se demuestra, en el plano

(11) *M. Born*, "Symbol und Wirklichkeit". "Physikalische Blätter", 1965, H. 2, S. 59.

(12) Ver, por ejemplo, su artículo "La realidad física", en el libro: *M. Born*, "La física y la vida de mi generación".

(13) *M. Born*, "Symbol und Wirklichkeit". "Physikalische Blätter", 1965, H. 2, S. 59.

de la teoría del conocimiento y de la lógica, por qué es necesario aceptar las tesis fundamentales del materialismo.

En la física, el problema de la realidad objetiva se fue embrollando más y más a medida que esta ciencia pasaba de los objetos macroscópicos perceptibles en la vida corriente a la esfera de los fenómenos cuyo conocimiento requería, amén de aparatos de experimentación especiales y delicadísimos, teorías no clásicas con sus abstracciones desconocidas en la física clásica.

Cuando nadie tenía ni siquiera la menor idea de la nueva física ya observó Engels que "el átomo, la molécula, etc., no pueden observarse en el microscopio, sino tan solo por medio del pensamiento"(14). La profunda clarividencia de Engels se reveló en su plena medida cuando la física empezó a descender, valga la expresión, hacia el fundamento de la materia. En las teorías físicas resulta imposible prescindir de las abstracciones y de los principios de la matemática. En la estadística física de Boltzmann-Gibbs, así como en las investigaciones de Einstein sobre la estructura molecular de la materia, la función heurística de la matemática se puso de manifiesto con bastante rigor: los trabajos de dichos científicos condujeron a los experimentos de Perrin, y la estructura atómico-molecular de los cuerpos observables quedó demostrada. Ahora bien, ¿cuál era aquí la situación en lo que respecta al problema de la realidad objetiva?

En la física clásica —y en ella se insertan las citadas investigaciones de Boltzmann y de Einstein— para explicar lo que se observaba en los aparatos era suficiente enlazar lógicamente los datos de las observaciones, mediante la cadena de los correspondientes razonamientos (si hacía falta, se añadían, además, tales o cuales conjeturas) con el sistema de las nociones fundamentales y axiomas de la mecánica clásica. En lo concerniente al problema de la realidad objetiva, esto significaba que el paso de lo observable en los aparatos al conocimiento de los objetos que se investigan se reduce a construir cierto modelo macroscópico mecánico. Como se sabe, la estadística física clásica se apoya realmente en las representaciones fundamentales de la mecánica corpuscular clásica.

En la nueva física, el problema de la realidad objetiva ha adoptado una forma distinta de aquella en que figuraba en la física clásica. Desde finales del siglo pasado, empezaron a producirse en la física situaciones paradójicas —ya lo hemos recordado más arriba— cuando los datos de las observaciones no podían ajustarse a los esquemas teóricos y a las representaciones existentes en aquel entonces. A decir verdad, sólo ahora el problema de la realidad objetiva ha tomado la forma en que aparece en la nueva física.

Cierto, cabe hacer un esfuerzo para abarcar las situaciones paradójicas cambiando de uno u otro modo los esquemas de las explicaciones clásicas. Tentativas de ese género siguen realizándose aún hoy; sirvan de ejemplo las interpretaciones de la teoría de la relatividad

---

(14) *C. Marx y F. Engels*, "Obras", t. XX, págs. 519-520.

de L. Janossy, o las interpretaciones de la mecánica cuántica, digamos, de Schrödinger o de Bohm. Pensando en abstracto, nada lógicamente reprobable hay en tentativas de esa naturaleza. Ahora bien, el problema de la verdad de las correspondientes interpretaciones se resuelve en consonancia con los éxitos obtenidos, y en este sentido el progreso de la física ha dicho su palabra decisiva: la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica se han desarrollado como teorías no clásicas, es decir, como teorías con un instrumental matemático desconocido de la física clásica y con nociones fundamentales y principios totalmente distintos (en comparación con los clásicos).

El problema de la realidad objetiva en física, tal como en cierto tiempo creían muchos, se excluía con el positivismo, doctrina que declaraba —lo mismo da que se trate de Mach que de los positivistas lógicos— que existe sólo el mundo de las sensaciones, sin realidad objetiva. Desde este punto de vista, según el filósofo norteamericano H. Margenau, por ejemplo, la naturaleza deja de existir independientemente de la experiencia y resulta que se compone de datos sensoriales y de "constructos" conceptuales (cosas de la vida corriente átomos, electrones, etc.) dado que éstos se forman en la experiencia. La realidad, según Margenau, es aquello que actúa bien sobre otros objetos bien sobre la psique del hombre, y fuera de tal acción no existe. "Dios —afirma Margenau— según esa versión es real para quien cree en él" [15]. En este caso sin duda alguna está en lo cierto Born, quien decía oponiéndose a los positivistas: "El que cree que la única realidad importante es el dominio de las ideas, lo espiritual, no debe dedicarse a las ciencias naturales" [16].

La física actual avanza pasando de unas teorías a otras más generales (o profundas) que se diferencian cualitativamente de las primeras. A la generalización teórica de ese género se hallan indisolublemente unidas la desaparición de determinadas nociones (que figuran en la teoría de partida) y la formación de otras, nuevas (sin las cuales, la nueva teoría no es teoría). La desaparición de viejos conceptos y el nacimiento de otros, nuevos, constituye un proceso único en el cual los viejos conceptos (en la teoría de partida son conceptos absolutos en su género o invariantes) se someten a una relativización peculiar, se convierten en aspectos de nuevos conceptos absolutos o invariantes en una teoría más general. Por ejemplo, en la teoría de la relatividad han desaparecido los conceptos de longitud y duración absolutas, aceptados en la mecánica clásica, y se han afirmado las nociones de longitud y duración relativistas, que son aspectos de uno de los invariantes más importantes de la teoría de la relatividad, del intervalo, especie de "unión" de la longitud y de la duración. En la mecánica cuántica se pierde el carácter de las nociones corpusculares y ondulatorias, que les es inherente en la teoría clásica; estos conceptos se

---

(15) *H. Margenau*, "The Nature of Physical Reality". "Philosophy of Modern Physics". New York - Toronto - London, 1950, p. 9.

(16) *M. Born*, "Physik und Metaphysik". "Naturwissenschaftliche Rundschau", 1955, H. 8, S. 301.

hacen relativos y pasan a ser aspectos de una noción más amplia (que la clásica) de partícula, con determinadas características invariantes.

Dos de estos ejemplos permiten enunciar algunas consideraciones de carácter gnoseológico sobre la idea de invariancia. Ante todo resulta imposible estar de acuerdo con Born, quien atribuye realidad sólo a los invariantes y, por así decirlo, la niega a los aspectos de estos últimos. Los motivos para reconocer el valor objetivo de los conceptos físicos, de las afirmaciones, etc., no se cifran en la idea de invariancia. Bastará recordar que las nociones relativistas de longitud y de duración corresponden a la realidad objetiva (lo cual se ha confirmado ahora con experimentos directos) aunque, como se sabe, no son en absoluto invariantes de la teoría de la relatividad. Dicho con otras palabras, no sólo los invariantes, sino, además, sus aspectos son imágenes de la realidad objetiva.

Por otra parte, en la cuestión concerniente al paso de la subjetividad al conocimiento objetivo, no puede negarse que la idea de invariancia es de suma importancia. Se ha de reconocer, por ejemplo, que las nociones de la mecánica clásica —y toda ella en su conjunto— son, en esencia, aproximadas (pese a que en el marco de su aplicabilidad son absolutas). Que la cuestión es precisamente así, lo han demostrado de manera concreta desde distintos lados la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica, después de determinar los límites en que pueden aplicarse las nociones de la mecánica clásica y ella misma. Así, la relación de indeterminación en la mecánica cuántica ha establecido los límites de aplicabilidad del concepto clásico (en determinado sentido, absoluto) de partícula. En el presente caso, al fijar el límite de aplicabilidad de la noción clásica de partícula, se tuvo en cuenta que, digamos, los electrones, además de propiedades corpusculares poseen al mismo tiempo propiedades ondulatorias. Dicho con mayor precisión: hallar el límite de aplicabilidad del concepto clásico de partícula significaba poseer un conocimiento más profundo de las partículas de la materia que lo que resultaba posible a base de la mecánica clásica. Es natural que más allá de esos límites, el concepto clásico de partícula no "trabaja", es decir, carece de valor objetivo y representa una construcción subjetiva.

Si tenemos en cuenta la serie de teorías físicas actuales en que aumenta el grado de generalización: la mecánica clásica - la mecánica cuántica - la electrodinámica cuántica - la teoría cuántica de los campos (la teoría de las partículas elementales), puede afirmarse que la relativización de las viejas nociones absolutas (invariantes) y la introducción de conceptos absolutos (invariantes) nuevos en el proceso de generalización de la teoría representa un movimiento progresivo de la subjetividad hacia el conocimiento objetivo, significa que se adquiere un conocimiento cada vez más profundo de la realidad objetiva, en el cual desaparecen las unilateralidades (y las construcciones subjetivas que llevan asociadas) de las teorías físicas individuales, y estas propias teorías, conservando su contenido, correspondiente a la realidad objetiva, adquieren una integridad más elevada.

Se nos figura que en esto consiste el papel filosófico de la idea

de invariancia cuando se examina el problema de la realidad objetiva en las teorías físicas no clásicas. En la física de hoy encuentran una brillante manifestación la dialéctica, que descubrió Lenin, de la relación entre la materia y la conciencia, el pensamiento de Lenin sobre la correlación de lo objetivo con lo subjetivo. La materia y la conciencia, lo objetivo y lo subjetivo se oponen entre sí únicamente en los límites del problema cardinal de la filosofía, es decir, del problema que trata de la relación entre la conciencia y la materia, pues al margen e independientemente de la materia, la conciencia no existe ni puede existir. "Operar fuera de esos límites con el contraste entre la materia y el espíritu, entre lo físico y lo psíquico, como con un contraste absoluto, sería un error inmenso" [17]. Que la cuestión se plantea también precisamente así y no de otro modo en la física actual, lo confirma la aplicación que en ella se hace de la idea de invariancia.

La idea de la contradicción dialéctica en la teoría cuántica

Los datos experimentales acerca de las propiedades corpusculares y también ondulatorias de los microobjetos (pistas de trayectorias en la cámara de Wilson y difracción de las partículas, por ejemplo de los electrones o de las moléculas) no ofrecen duda alguna y ningún físico los niega. Pero, ¿cómo interpretar esos datos —el dualismo corpuscular-ondulatorio— en teoría? La tarea indicada no es de ningún modo trivial, y menos aún teniendo en cuenta que en la física clásica las construcciones teóricas corpusculares y ondulatorias se ven como construcciones que se excluyen mutuamente. En el plano filosófico surge ante todo el problema del estado ontológico de las "ondas" y de las "partículas": los datos experimentales sobre los microobjetos que designamos con palabras que se refieren a "ondas" y a "partículas", ¿responden a lo objetivamente real? ¿Tiene razón, digamos, el "filósofo de la ciencia" americano Ph. Frank, quien estima que el electrón es tan solo un conjunto de magnitudes físicas que nosotros introducimos para establecer principios en función de los cuales podemos inferir lógicamente conclusiones acerca de las indicaciones de la flecha del aparato de medición? [18]

Cabe hablar de cierta analogía entre las aporías de Zenón relativas al movimiento y el dualismo corpuscular-ondulatorio. En el primer caso no se trata tanto de certeza sensorial del movimiento cuanto de cómo expresar el movimiento en la lógica de los conceptos. En el segundo caso también se hace referencia a la necesidad de comprender la certeza empírica de las propiedades corpusculares y ondulatorias de los microobjetos, pues no es posible darse por satisfecho

---

(17) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 259. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 271).

(18) *Ph. Frank*, "Foundation of Physics". "International Encyclopedia of Unified Science", 1, N 7. Chicago, 1946, p. 54.

con esta simple certeza. Tanto en el primer caso como en el segundo, la dialéctica resuelve los correspondientes problemas, pero esos casos se diferencian respecto al carácter de las unidades dialécticas que surgen. En el caso del movimiento (desplazamiento mecánico), éste no provoca directamente la idea de contradicción, y todavía hoy no tenemos menos que sorprendernos del virtuosismo (que no llegan a comprender muchos científicos de nuestra época) de la mente dialéctica de Zenón [19] que de tal modo, por decirlo así, "desdoblaba lo singular". En el caso del dualismo corpuscular-ondulatorio, por el contrario, el "desdoblamiento" es habitual, y lo sorprendente son el hecho de la difracción de los electrones o los experimentos visuales con luz de débil intensidad, los cuales significan que los aspectos corpuscular y ondulatorio *se fusionan.*

¿Cómo unir los aspectos corpuscular y ondulatorio, que se contraponen el uno al otro? Es posible enfocar de varias maneras la solución de este problema.

En su tiempo se hicieron tentativas para considerar el fenómeno ondulatorio como un fenómeno en un medio constituido por partículas. Sirva como ejemplo la teoría de Joseph J. Thomson según la cual el electrón se comporta como si pasara a través de una atmósfera saturada de cargas eléctricas [20]. Semejante teoría, en la cual tan solo se asigna un valor fundamental a la partícula mientras que las ondas se ven como algo secundario, resucita de diversas maneras en la física actual.

Al crearse la mecánica cuántica, Schrödinger quiso interpretar los corpúsculos como "paquetes de ondas". Tal interpretación no concordaba con los hechos (los "paquetes de ondas", como cabe demostrar, han de "esparcirse" con el transcurso del tiempo, cosa que no sucede a las micropartículas) y chocaba, además, con una dificultad insuperable al explicar la interacción entre dos "paquetes de ondas" en el espacio físico tridimensional.

Últimamente se presentan teorías (D. Bohm y otros autores) en las cuales los corpúsculos y las ondas se ven como aspectos igualmente fundamentales de la materia. En esas teorías se recalca ante todo la idea de la coexistencia de propiedades corpusculares y ondulatorias de los objetos que se mueven en cierto tipo clásico de modelo, en el cual se conserva la noción clásica de trayectoria del movimiento y en esencia se elimina la simetría entre las partículas y las ondas inherente a la teoría cuántica.

Lo característico de éstas y otras interpretaciones análogas consiste en la aplicación de determinados conceptos y esquemas clásicos a los fenómenos en escala atómica. Ello implica que, en las correspondientes concepciones, las nociones y los esquemas clásicos se

---

(19) Ver *S. A. Ianovskaia*. "¿Son superables en la ciencia contemporánea las dificultades conocidas con el nombre de «aporías de Zenón»?" - "Problemas de lógica", Moscú, 1963.

(20) Ver *J. J. Thomson*. "Más allá del electrón". - "Éxitos de las ciencias físicas", 1928, t. VIII, fasc. 5.

interpretan como invariables y absolutos. En el plano metodológico, ese rasgo de las concepciones indicadas constituye la causa principal de su debilidad: en el mejor de los casos, dichas concepciones "explican", post factum, resultados obtenidos ya gracias a la concepción de Bohr, sustentada en principios no clásicos. Veamos ahora, en el problema de la unión de los aspectos corpuscular y ondulatorio, un punto de vista que en principio se diferencia de los señalados más arriba.

Bohr calificó de "irracionalidad" el procedimiento de unir los aspectos corpuscular y ondulatorio fundado en la idea de transferir la noción de onda de la óptica clásica a la mecánica corpuscular. Aunque todavía hoy se sigue atacando la concepción de Bohr sobre la unión de los puntos de vista corpuscular y ondulatorio, y la aplicación que en este caso hace Bohr del término "irracionalidad" [21], en el fondo de la cuestión no hay más remedio que estar de acuerdo con él. La unión de los aspectos corpuscular y ondulatorio en la mecánica cuántica recuerda en gran manera la introducción de los números irracionales e imaginarios en matemáticas o del concepto de intervalo en la teoría de la relatividad. Tomando como base un sistema lógico formal cualquiera, no se llega muy lejos en el análisis de las cuestiones que atañen a semejante unión. Entra en escena la lógica dialéctica, que puede parecer irracional, y así lo parece realmente al pensamiento reflexivo, aunque en realidad es impecable en el plano lógico.

Cada una de las maneras ("racionales"), más arriba indicadas, de enfocar el problema de la unión de los aspectos corpuscular y ondulatorio pone de relieve unilateralmente una pequeña parte de la línea del conocimiento que refleja la situación de las cosas tal como es. La dialéctica materialista, por el contrario, excluye el conocimiento unilateral; proporciona todo lo necesario y suficiente para elucidar el problema de si tienen valor objetivo los cuadros, que se excluyen mutuamente —el corpuscular y el ondulatorio—, de la conducta de los microobjetos.

La materia, es decir, la substancia y el campo, no es en su totalidad ni algo compuesto de partículas ni algo compuesto de ondas en el sentido de las teorías clásicas, ni tampoco la unión de unas y otras en un modelo macroscópico (clásico). Las propiedades corpusculares y ondulatorias son unas, en su oposición. Dicho con otras palabras: la materia posee al mismo tiempo las propiedades de las partículas y de las ondas. Tan solo aproximadamente puede considerarse el movimiento de los microobjetos como desplazamiento de las partículas y expansión de las ondas. Si nos fijamos en los casos extremos, vemos que en unas condiciones experimentales los microobjetos se conducen como ondas, y en otras, como partículas. La denominada relatividad de los medios de observación (éstos forman las condiciones en que se manifiestan las propiedades que se excluyen mutuamente de los microobjetos) constituye un rasgo característico de la descripción en

---

(21) Ver *M. Bunge*, "La causalidad", Moscú, 1962, pág. 427.

la teoría cuántica, rasgo que se deriva del reconocimiento de la naturaleza dual, corpuscular-ondulatoria, de los microobjetos.

Quienes han elaborado estas ideas de manera más precisa y sistemática han sido los científicos conscientemente partidarios del materialismo dialéctico [22]. La influencia de las concepciones idealistas y metafísicas sobre la teoría cuántica se ha producido ante todo en la manera de interpretar el problema que trata de cómo unir los cuadros corpuscular y ondulatorio de la conducta de los microobjetos: en la negación del carácter objetivamente real de la unidad de las propiedades corpusculares y ondulatorias de la materia en su nivel atómico y en la afirmación de que es subjetiva la relatividad de los medios de observación. Este criterio queda expresado con toda nitidez en la idea de que es imposible controlar, por principio, la acción recíproca del microobjeto con los medios que se usan para observarlo.

La "incontrolabilidad de principio" en el sentido propio de la palabra no expresa ninguna verdad, dado que los procesos y fenómenos de la naturaleza son en principio cognoscibles y, por consiguiente, controlables, también en principio. Ahora bien, los físicos han empleado ese término sin darle a menudo un significado preciso, sino como peculiar designación de la circunstancia de que las leyes cuánticas se diferencian cualitativamente de las leyes de la mecánica clásica. Los adversarios del materialismo, sin embargo, han utilizado dicho equivocado término filosófico en un sentido subjetivista.

Últimamente, la noción de "incontrolabilidad de principio" va desapareciendo de las publicaciones científicas, especialmente de las que pertenecen a físicos disconformes con la orientación positivista en las ciencias naturales (no nos referimos sólo, en este lugar, a los científicos que son partidarios conscientes del materialismo dialéctico). Así, Bohr, en sus últimos trabajos sobre los problemas filosóficos de la física atómica, no utilizó el concepto de "incontrolabilidad de principio" y subrayó que la descripción de los fenómenos atómicos tiene carácter objetivo. El término de "complementariedad" que Bohr conserva designa una singular relación de los datos experimentales, obtenidos con métodos de observación que se excluyen mutuamente, sobre los microobjetos. Tales datos, observa Bohr, aunque al parecer se contradicen unos a otros, en realidad agotan todo cuanto se puede saber acerca del objeto [23].

Hemos de examinar ahora más detenidamente algunos aspectos de la concepción inspirada en el reconocimiento de la naturaleza dual, corpuscular-ondulatoria, de los microobjetos.

Partícula: concepto fundamental de la mecánica clásica (análogo a otros de sus conceptos básicos). Puede definirse indirectamente mediante los axiomas de Newton. La definición aludida significa que la partícula se caracteriza al mismo tiempo por el impulso y por la

---

(22) Ver la nota bibliográfica correspondiente a la pág. 132 de esta edición.

(23) Ver *N. Bohr*, "La física cuántica y la filosofía". "La física atómica y el conocimiento humano", págs. 143-144.

coordenada. Pero el concepto clásico de partícula no puede aplicarse a escala atómica, dado que no corresponde a las leyes cuánticas experimentalmente establecidas, que se expresan mediante el formalismo cuántico. En este ámbito desempeña un papel capitalísimo la relación de indeterminaciones, la cual no sólo establece los límites de aplicabilidad de la noción *clásica* de partícula, sino que, además, permite generalizar y profundizar dicha noción, saturándola de un contenido nuevo, desconocido en las teorías clásicas. Eso nuevo tiene su origen en la necesidad de tomar en consideración, en la teoría, las propiedades ondulatorias de los microobjetos.

En el formalismo cuántico (que se diferencia cualitativamente del formalismo de las teorías clásicas) se describe matemáticamente la situación de las cosas en física, situación interiormente vinculada al reconocimiento de la naturaleza dual, corpuscular-ondulatoria, de los microobjetos. En él figuran símbolos que no designan números (como en el formalismo de las teorías clásicas) sino conceptos matemáticos más abstractos (operadores) que no se subordinan, hablando en general, a la ley conmutativa de la multiplicación. En la mecánica cuántica, a toda magnitud física se le confronta su operador de tal modo que los valores propios de este último den los valores posibles de esa magnitud, y sus funciones propias describan los correspondientes estados del objeto (del sistema). Ya en las determinaciones de los operadores del impulso y de la coordenada se halla contenida en forma potencial la relación de indeterminaciones (para el impulso y la coordenada) [24], en la cual se pone de manifiesto que en el estado cuántico (matemáticamente se describe mediante la función de onda) no existen valores conjuntamente propios de los operadores de la coordenada y del impulso, es decir, en el fondo se afirma que la mecánica cuántica no tiene nada que ver con la partícula "clásica".

De esta suerte, en la mecánica cuántica —y esto demuestra ante todo el formalismo cuántico— no pueden conjugarse a la manera clásica las ideas corpusculares y ondulatorias. Desde el punto de vista de la física clásica, la expresión "dualismo corpuscular-ondulatorio" puede aplicarse, como resulta evidente por lo dicho más arriba, en los significados siguientes: 1) *o* partícula *u* onda; 2) *como* partícula y *también* como onda. Sin embargo, desde el punto de vista del formalismo cuántico, estos dos significados quedan descartados. Hay que hallar, por decirlo con palabras de Bohr, la forma "irracional" de unir los conceptos corpusculares y ondulatorios. Si tal forma existe, ¿en qué estriba su sentido lógico?

La peculiaridad que ofrece la combinación de los conceptos corpusculares y ondulatorios en la mecánica cuántica se centra en una especie de probabilidad *cuántica*, noción que es una de las fundamentales en la teoría cuántica. Introducido por Born y desarrollado luego por Bohr, este concepto significa que los procesos en los sistemas materiales se subordinan a las leyes de la probabilidad. Según

---

(24) Ver acerca del particular: *V. A. Fok*, "Mecánica cuántica". "Diccionario de física", t. II, Moscú, 1962, pág. 317.

esta interpretación, el proceso de desplazamiento de una partícula va acompañado de un proceso ondulatorio, que constituye un proceso de expansión de la onda de probabilidad. La ecuación de Schrödinger dirige esta onda, o sea, permite determinar, en el proceso corpuscular, la probabilidad de toda variación del curso del fenómeno en el tiempo.

Las probabilidades en la mecánica cuántica se diferencian de manera radical de las probabilidades en las teorías clásicas. En estas últimas, expresan la existencia de circunstancias casuales para los fenómenos que se investigan, motivo por el cual no entran directamente en las leyes de dichos fenómenos. La hipertrofia de semejante estado de cosas, característico de la concepción metafísica, lleva a la interpretación subjetivista de la casualidad y de la probabilidad (determinismo laplaciano). En la mecánica cuántica, la situación es completamente distinta: en ella, las probabilidades se estiman como formando parte de las leyes básicas de la naturaleza (ecuación de Schrödinger señalada más arriba) y su introducción refleja lo potencialmente posible que existe de manera objetiva en determinadas condiciones reales. Las leyes probabilitarias de la mecánica cuántica no son leyes de conducta de las partículas "clásicas" ni de los campos asimismo "clásicos", sino de sistemas materiales que unen de manera peculiar las propiedades de las partículas y de los campos.

La idea de "onda de probabilidad" de la mecánica cuántica como modo de unir los conceptos corpusculares y ondulatorios puede parecer artificial. Sin embargo, su naturalidad salta a la vista si analizamos algunos experimentos que no son en absoluto mentales. En una experiencia, digamos, de tiro de ametralladora, podemos juzgar sobre la estadística de las balas volantes por el cuadro que presentan los impactos desordenados en el blanco. En un experimento sobre difracción de electrones alternativamente volantes conoceremos la estadística de la conducta de los electrones por las manchitas desordenadamente situadas en la pantalla (huellas del impacto de los electrones) que forman, si el experimento tiene bastante duración, un cuadro difraccional. Comparando los dos experimentos, podemos decir con fundamento de causa que la conducta probable del electrón se subordina a la ley ondulatoria (cosa que no puede decirse de la conducta de la bala). El cuadro difraccional formado por las huellas de los electrones dice que el electrón no se mueve como "la partícula clásica, sino que se mueve como una partícula que posee propiedades de onda (a la vez que corpusculares). En efecto, por la manchita que se forma en la pantalla inferimos que el electrón posee propiedades corpusculares; por el cuadro difraccional que las manchitas forman inferimos que el electrón, al pasar por el sistema difrangente, no se interinfluencia con uno o con un pequeño número de átomos (como habría interactuado una partícula "clásica"), sino con el sistema difractante en su conjunto (es decir, se comporta como una formación de onda). De esta suerte, el electrón pasa a través del sistema difrangente no de manera análoga *sólo* a la partícula o *sólo* a la onda, sino como objeto al que le son inherentes propiedades indivisiblemente corpuscular-ondulatorias.

Es de suma importancia aclarar qué significa la indivisibilidad de las propiedades corpuscular-ondulatorias del electrón o lo que se entiende por unidad dialéctica de las propiedades corpusculares y ondulatorias de la materia si el problema se plantea más ampliamente. Esto puede demostrarse con el siguiente ejemplo. Estudiando el experimento interferencional de Young (se admite que la pantalla de la instalación está hecha de una sustancia que da un notable efecto fotoeléctrico), en el cual se demuestra la naturaleza corpuscular de la luz incluso en las bandas de interferencia, Born niega que en dicho experimento "la luz actúe simultáneamente en sus dos aspectos, en el de corpúsculos y en el de ondas" [25]. No obstante, si reflexionamos en la argumentación de Born (quien afirma, en particular, que "hablar de una partícula carece en absoluto de sentido mientras no se hayan determinado experimentalmente por lo menos dos puntos de su trayectoria" y también que es "totalmente absurdo hablar de una onda mientras no se hayan registrado por lo menos dos máximos de interferencia") [26], veremos claramente que en sus manifestaciones se hace referencia en el fondo a las partículas y a la onda "*clásicas*". En efecto, para comprender los correspondientes fenómenos en la experiencia de Young, es imposible aplicar los conceptos de partícula y de onda de la física clásica. Esto fue, en realidad, lo que demostró Born con sus razonamientos, aunque él pensaba poner de manifiesto otra cosa. En ese terreno ya se han de aplicar conceptos de la teoría *cuántica*, que se diferencian cualitativamente de los conceptos clásicos. El concepto de partícula en la teoría cuántica se diferencia, sin duda alguna, de su análogo clásico, y el experimento de Young demuestra a su modo esta circunstancia.

La diferencia de los conceptos *cuánticos* de partícula y de onda respecto a sus conceptos *clásicos* análogos estriba en que los primeros, dentro de los límites de su teoría, son relativos, mientras que los conceptos clásicos, en los límites de su teoría, son absolutos. Esto significa que para describir la conducta de un microobjeto es necesario introducir en el examen los medios de observación (relatividad de los medios de observación), mientras que en la descripción dada según la física clásica es posible hacer caso omiso de semejante conducta [27]. La diferencia señalada se asienta en el reconocimiento de que en la teoría cuántica los objetos en movimiento se examinan desde el punto de vista de sus propiedades corpusculares y ondulatorias, contrapuestas, mientras que en la teoría clásica, si bien se admite la unidad de ondas y partículas, es tan solo desde el punto de vista de su coexistencia o de su existencia paralela en cierto modelo subordinado a las leyes de la teoría clásica.

---

(25) Ver *M. Born*, "La física atómica", Moscú, 1965, pág. 125.

(26) *Ibíd.*

(27) Sobre el concepto de relatividad de los medios de observación, ver: *V. A. Fok*, "Sobre la interpretación de la mecánica cuántica". "Problemas filosóficos de las ciencias naturales en la actualidad. Trabajos de la Conferencia de toda la Unión sobre las cuestiones filosóficas de las ciencias naturales".

Podemos inferir, legítimamente, la siguiente conclusión: la unidad dialéctica en que han de juntarse y se juntan las contradicciones relativas, se diferencia por completo de aquella en que éstas se conservan absolutas e inmóviles. La unión de los contrarios en una unidad dialética no lleva a contradicciones lógico-formales de ninguna clase (así se desprende con toda evidencia de la definición de unidad dialéctica). Semejante unión presupone que nace o ha nacido una teoría más profunda que aquella en que figuran las contradicciones absolutas, una teoría con los correspondientes conceptos y principios fundamentales nuevos. En semejante teoría, los contrarios que se unen se convierten en aspectos de una nueva noción. Así, en la mecánica cuántica, el concepto de partícula "conserva" del concepto clásico el elemento de discreción, pero "pierde" la propiedad de movimiento por una trayectoria y la propiedad de individualidad. Tales "pérdidas" significan en realidad que las propiedades de onda se combinan con las corpusculares cuando se habla de objetos de la mecánica cuántica (lo cual en la propia mecánica cuántica expresa concretamente la relación de indeterminaciones del impulso y de la coordenada).

Resumiendo en el plano lógico lo dicho acerca de la unidad dialéctica cabe indicar que tal unidad está dirigida en términos generales por la fórmula "y sí y no", y por lo que respecta al problema del dualismo corpuscular-ondulatorio, lo está por la fórmula "y partícula y onda". Esta fórmula no puede conducir ni conduce a equívocos lógico-formales dado que en la mecánica cuántica se entienden las nociones de "partícula" y "onda" como recíprocamente relativas, mientras que en la física clásica se trata de conceptos absolutos. En los términos de la lógica actual resulta sobre todo evidente que la fórmula "y partícula y onda" no conduce a ningún absurdo lógico. Esta expresión corresponde al metalenguaje, mientras que la expresión "o partícula u onda" corresponde al lenguaje de las teorías clásicas. Desde este punto de vista, la mecánica cuántica es, en cierto sentido, una metateoría de la mecánica clásica. Es precisamente la mecánica cuántica la que permite establecer los límites de aplicabilidad de la mecánica clásica, de sus principios y de sus nociones fundamentales, y también considerar otras cuestiones relativas a la mecánica clásica como una teoría global (por ejemplo, el problema de la adecuación de las nociones de realidad objetiva admisibles en la mecánica clásica).

Vemos, por tanto, que las limitaciones a que está sujeto en la mecánica cuántica el concepto clásico de partícula no constituyen una limitación del conocimiento ni tampoco una confirmación de la tesis positivista según la cual carece de sentido el problema del valor objetivo de lo empíricamente observable. Semejante "limitación" en realidad supone un conocimiento más profundo de las propiedades corpusculares de la materia tomando en consideración las propiedades de onda que le son inherentes, de las cuales hacen caso omiso las teorías clásicas cuando investigan las partículas. En consonancia con esta "limitación" se generaliza y se ahonda el concepto de par-

tícula, arrojando, por así decirlo, en esta generalización su forma clásica.

En resumen: Cuando la física pasa al conocimiento del mundo de los fenómenos atómicos y del mundo subatómico, o al conocimiento del mundo de los sistemas estelares y de las galaxias, al sintetizar en el sentido auténticamente filosófico de esta palabra los conocimientos físicos alcanzados acerca del macro y del microcosmos, se necesita una flexibilidad de nociones, polifacética y universal, que refleje el perpetuo desarrollo del mundo objetivamente real. El fragmento leninista, de máxima concisión y extraordinaria profundidad de contenido, *En torno al problema de la dialéctica* [28] —en el cual se resume cuanto de fundamental dice Lenin en sus *Cuadernos filosóficos*— muestra con toda claridad que semejante flexibilidad polifacética de nociones sólo es inherente al pensamiento dialéctico.

"El desdoblamiento de lo singular y el conocimiento de sus partes contradictorias... es la *esencia*... de la dialéctica". "Para conocer todos los procesos del mundo en su «*automovimiento*», en su desarrollo espontáneo, en su vida viva, es condición necesaria que se conozcan como unidad de contrarios. El desarrollo es una «lucha» de contrarios". "*Únicamente* la segunda (la concepción del desarrollo como unidad de contrarios. - *M. O.*) proporciona la clave del «automovimiento» de todo cuanto existe; únicamente ella proporciona la clave de los «saltos», del «intervalo en la graduación», de la «transformación en lo contrario», de la destrucción de lo viejo y el nacimiento de lo nuevo".

El fragmento *En torno al problema de la dialéctica* parece como si hubiera sido especialmente destinado por Lenin a la nueva física, para resolver los problemas filosóficos que en ella se plantean. Le sirve de brillante confirmación, la transformación de las ideas cuánticas iniciales en una teoría física desarrollada, coherente en el aspecto lógico: la mecánica cuántica.

Con el presente artículo, nos proponíamos destacar ante todo el valor de los trabajos filosóficos de Lenin para el progreso de la física del siglo XX. Cuanto más se alejan en la profundidad de la historia los años en que dichos trabajos aparecieron, tanto más plenamente se pone de manifiesto su contenido. Ninguna de las ideas de Lenin relativas a las generalizaciones filosóficas y a las conclusiones de la nueva física ha resultado hoy vana. Las verdades de la dialéctica halladas por Lenin sirven actualmente al progreso de la ciencia y le seguirán sirviendo en adelante.

---

(28) Ver *V. I. Lenin*, "Obras", t. XX, págs. 316-322.

CECIL F. POWELL
Profesor de la Universidad de Bristol
(Inglaterra)

PERSPECTIVAS Y PROBLEMAS DE LA CIENCIA CONTEMPORÁNEA

Los éxitos de la física de las partículas elementales

Supongo que la mayor parte de la gente estará de acuerdo ahora en que uno de los rasgos más relevantes de nuestro tiempo estriba en el impetuoso avance de la ciencia y de la técnica y en que hoy es precisamente en estos campos donde el genio del hombre encuentra uno de los medios capitales de expresión. El país no incorporado por lo menos a varios aspectos del progreso científico se ve fuera de la corriente fundamental del desarrollo humano, lo que acarrea graves consecuencias para su vida intelectual y para su capacidad productiva.

La física nuclear y la de las partículas elementales, así como las zonas de investigación que les son afines, se hallan en las posiciones avanzadas de la ciencia y están relacionadas con la penetración más profunda en la estructura del universo material. Desde los tiempos de la antigüedad clásica solía admitirse que llegaría un día en que se habría penetrado hasta el fin en la naturaleza de la materia. Ahora ya no es posible defender semejante punto de vista; al contrario, ahora parece muy sensata la conjetura de que los átomos en el viejo sentido griego de la palabra —como "partículas indivisibles"— no existen.

Los acontecimientos de la pasada década relacionados con el descubrimiento de un gran número de partículas menos estables, si bien no menos importantes, que los electrones, protones y neutrones de nuestro mundo habitual, dispuestas en familias análogas a la tabla de Mendeléiev, demuestran que entramos seriamente en nuevos campos de investigación. Quiero subrayar la sorprendente observación que hizo Lenin en *Materialismo y empiriocriticismo*, libro publicado en 1909, cuando el electrón era la única partícula elemental conocida.

En aquel entonces, cuando todo el mundo científico tendía a creer que existen partículas indivisibles e inmutables, Lenin declaró: "El electrón es inagotable".

El gran campo de aplicación de los resultados de la física de las partículas elementales y su profundo significado para diversas ramas del saber nos proporciona la certidumbre de que su objeto, durante muchos de los años venideros, constituirá una de las esferas capitales del progreso de la ciencia teórica, y la nueva imagen de la estructura de la materia que como consecuencia de esos resultados se establezca, ejercerá una poderosa influencia sobre toda la física y sobre las ciencias naturales en su conjunto.

Teniendo en cuenta la actualidad del objeto de investigación y sus enormes posibilidades, se invierten sensibles recursos económicos en las instituciones nacionales e internacionales que poseen grandes aceleradores y el correspondiente instrumental, necesario para llevar a cabo las investigaciones actuales en lo que atañe a la física de las partículas elementales. Es muy numeroso el personal ocupado en tales investigaciones.

Los países altamente desarrollados, en condiciones de construir grandes aceleradores con sus recursos y tener un acelerador propio, presentan una gran ventaja para los físicos de cualquier país. A los Estados pequeños les suele resultar difícil hallar recursos para construir semejantes instalaciones y explotarlas con eficacia. Tal ha sido el motivo de que se organizara en Ginebra el Consejo Europeo de Investigación Nuclear, centro de colaboración en muchos aspectos, que ha trabajado con mucho éxito para crear y explotar un sincrotrón protónico de 28 GeV.

Dicha institución es un activo centro para la proyección de un acelerador de 300 GeV que cubriría las necesidades de la Europa Occidental en el transcurso de los últimos veinticinco años de nuestro siglo; también suministra maquinaria complementaria para un acelerador de 70 GeV que se instala en Sérpujov y para otro de 200 GeV en los Estados Unidos. El acelerador de Sérpujov será, sin duda alguna, por lo menos durante el lustro inmediato, la instalación más potente para el estudio de la física de las partículas elementales.

Cambios en el estilo del trabajo

A un científico de los años treinta y cuarenta le habría sido difícil imaginarse, sin verlos funcionar, los nuevos métodos de investigación científica que caracterizan la actividad de los grandes centros internacionales. Esos métodos requieren la colaboración de miles de personas, utilizan una tecnología sutilísima, una técnica de orfebrería por su exactitud y la ciencia más avanzada. Su actividad se caracteriza por el sumo rigor con que se plantean los problemas de planificación y de dirección.

Hace unos sesenta años e incluso treinta o cuarenta, las investigaciones en el campo de la física de las partículas elementales poseían aún todos los encantos de la creación individual. El científico que

ideaba un experimento, podía construir los aparatos necesarios recurriendo a la ayuda de un buen mecánico, podía llevar a cabo las observaciones y tener en cuenta los resultados. Existía incluso la posibilidad de realizar el experimento utilizando materiales que se encontraban al alcance de la mano, después de haber dedicado a ello no más de unas semanas. De ventajas análogas gozan para su obra creadora los artistas; en cuanto a los científicos, sólo renuncian a este método de trabajo que les es habitual y que les proporciona gran satisfacción, cuando les obliga a ello la creciente complejidad del objeto de investigación y la subsiguiente necesidad de realizar experimentos cada vez más delicados.

A partir de 1930 se pudo observar que el estilo del trabajo científico adquirió nuevos caracteres a raíz de la creación de los primeros aceleradores. Contribuyó en sensible grado a afirmar esos caracteres el éxito del experimento efectuado con el fin de obtener energía nuclear para fines pacíficos y militares. Tuvo que participar en ese experimento una generación entera de físicos. Los científicos se vieron obligados a trabajar conjuntamente formando grandes equipos, y se cumplieron operaciones a escala industrial.

De esta suerte fue precisamente en la física de las partículas elementales donde se pudo percibir por primera vez el espíritu de la ciencia del futuro, ese estilo del trabajo científico que, por lo visto, irá predominando en ramas cada vez más numerosas de la ciencia a medida que ésta avance. Una pregunta, sin embargo, se plantea: ¿cómo se justifican los colosales gastos de recursos económicos y de esfuerzos humanos que se destinan a la construcción y al trabajo de semejantes centros científicos?

Perspectivas de la ciencia contemporánea

Es difícil apreciar el valor de los resultados fundamentales de la ciencia en el estadio de su aparición, pues carecemos de la facultad de ver lo que sucede al otro lado del horizonte de nuestro propio tiempo. Voy a citar un sorprendente fragmento de una conferencia que pronunció Maxwell hace un siglo. "A nosotros, que conocemos tan solo el espíritu de nuestra propia época y el carácter del actual estilo del pensar no nos es posible ni prever la atmósfera general de la ciencia del futuro ni predecir los descubrimientos específicos que se harán. La ciencia experimental descubre sin cesar nuevas particularidades de los procesos naturales y para describirlos nos vemos obligados a buscar formas de pensamiento radicalmente nuevas".

A menudo se comenta que se necesitaron cincuenta años para que los experimentos de Faraday en el dominio del electromagnetismo encontraran aplicación práctica. Cabe tomar otro ejemplo de la historia de la ciencia de los años veinte y comienzos de los años treinta de nuestro siglo, que vieron el nacimiento de la mecánica cuántica y la formación definitiva de la teoría de la relatividad. Las nociones entonces introducidas parecían raras, claras sólo para los iniciados, y de muy poca aplicación práctica. Ahora, en cambio, han

penetrado en todos los capítulos de la ciencia y han resultado de importancia fundamental para la industria. De modo análogo nos es difícil ahora apreciar todas las consecuencias de los éxitos de la ciencia en los últimos años. No hay ninguna duda de que serán muy profundas y toda nuestra experiencia nos induce a pensar que superarán nuestras esperanzas más audaces.

A veces se dice que desde que los procesos estudiados por la ciencia se encuentran lejos de los fenómenos más importantes para nuestra experiencia cotidiana, el profundizar y ampliar el conocimiento científico será de poca utilidad para la praxis del futuro (de ese futuro en el que ahora procuramos penetrar más profundamente). Este criterio, sin embargo, me parece excesivamente limitado. Incluso si la profundización de nuestros conocimientos en la etapa actual no facilita demasiado el avance de la industria (y me figuro que es así), una de las funciones de la ciencia, hasta de la más refinada, consiste en obtener resultados de la industria radicalmente nuevos, inimaginables en el marco de las posibilidades del día de hoy.

No hace mucho tiempo se descubrieron objetos astronómicos del tipo de los quasars y de las galaxias explosivas en los cuales se han descubierto fuentes inmensas de energía, a veces de 10^{62} erg. La existencia de semejantes fuentes de energía no puede explicarse en términos de los procesos nucleares habituales ni de las leyes más heurísticas en el mundo de las partículas descubiertas hace pocos años. Teniendo esto en cuenta, ¿quién puede afirmar que dentro de cien años el hombre no podrá descubrir y dominar nuevas fuentes de energía incomparablemente más poderosas que las nucleares? A condición, claro está, de que no hayamos destruido antes toda nuestra civilización.

¿Y quién puede fijar un límite a las perspectivas que se presentan a consecuencia de los éxitos colosales que cosecha la aplicación de los métodos radiactivos en la química médica y en la biología? Si nosotros somos incapaces de prever las posibilidades del progreso de la ciencia y qué medios son necesarios para trocarlas en realidades, ¿quién podrá hacerlo?

Sin embargo, en muchas de estas nuevas esferas de la ciencia, nuestros conocimientos todavía son elementales. Esto recuerda el período inicial de los descubrimientos en el campo de la electricidad, cuando el hecho básico conocido era la contracción de una pata de rana por efecto de un excitante eléctrico o de la descarga de un rayo. ¿Quién iba a suponer entonces que semejante fenómeno, al parecer tan distante de la utilización práctica un buen día iba a ser un elemento necesario de toda nuestra civilización?

Es indudable que la imposibilidad de prever los descubrimientos más fundamentales de la ciencia y todas las consecuencias que de ellos se derivan se encuentra en la naturaleza de los propios descubrimientos. Ahora bien, la particularidad de la situación actual estriba en que los recursos humanos y materiales que la ciencia exige son muy importantes. Al fundar grandes centros científicos tenemos que representarnos con exactitud en qué cabe tener absoluta seguridad y

qué puede suponerse con toda probabilidad; debemos estar preparados para valorar constantemente la utilidad de tales centros y para renunciar a ellos si nuestras esperanzas nos parecen poco reales. Por otra parte, si no somos capaces de actuar con audacia y con imaginación, las consecuencias pueden ser muy graves.

Actualmente, los grandes Estados asignan cerca del 0,3 % de su renta nacional al fomento de la ciencia teórica, y este porcentaje aumenta. Pero, ¿en qué medida se elevará la función que desempeña la ciencia en nuestra cultura dentro de cien años? A veces se calcula que si se parte del nivel actual y se supone que los recursos dedicados al progreso de la ciencia teórica se duplican cada ocho o diez años (como se hace ahora) resultará que dentro de cien años todos los recursos deberán gastarse únicamente en la ciencia teórica. Quienes se sienten ahora realmente preocupados por las perspectivas que puede sugerir el actual incremento de los gastos que se efectúan en la ciencia me recuerdan a un padre que, al enterarse por su esposa que su hijo en un año había pasado de tres kilogramos de peso a diez, exclamó alarmado que si el niño seguía aumentando de peso al mismo ritmo, antes de llegar a los cuarenta años pesaría tanto como la Tierra. Algunos científicos estiman que las asignaciones destinadas a la ciencia teórica han de elevarse hasta el 0,6 % de la renta nacional. Otros creen que dentro de cien años podremos dedicarle el 50 % de nuestros recursos, siempre y cuando la diferencia entre la ciencia y la técnica desaparezca en sensible grado, como ha sucedido ya en los centros que poseen aceleradores. Es difícil hallar una base firme para establecer una diferenciación entre estos vaticinios tan dispares. Sin embargo, me parece poco probable que dentro de veinticinco años nos quedemos a un nivel de gastos que representen el 1 % de la renta nacional.

Los resultados del profundo adelanto científico no se limitan exclusivamente al provecho material que se presenta en forma de conquistas industriales del todo nuevas, consecuencia más o menos directa de los éxitos científicos. En su conjunto, la ciencia y la tecnología, la teoría y la práctica constituyen un organismo complicadísimo, de innumerables conexiones, y hay que poner a contribución toda nuestra sabiduría para asegurar su desarrollo armónico.

En nuestra época, la historia de la ciencia es una prueba de que en el progreso científico como un todo, lo decisivo es el grado de sutileza con que logremos comprender la base: la composición y la interacción de los elementos de la materia en distintos niveles. Y parece poco probable que la comprensión real de la nueva esfera en la jerarquía de las partículas elementales —esfera en que, por lo visto, estamos entrando ahora— no tenga un significado análogo para el edificio general de la ciencia.

Uno de los rasgos esenciales del trabajo que llevan a cabo los centros científicos con aceleradores nacionales e internacionales radica en la estrecha colaboración con los hombres de ciencia de las universidades y de otros centros de enseñanza superior. Esto constituye una gran ventaja para los centros internacionales. Esta colaboración tiene,

por otra parte, otra consecuencia. El espíritu general que impera en las facultades universitarias a ella incorporadas, así como la calidad de la enseñanza y de las investigaciones científicas que ahí se realizan, se ven estimulados por el hecho de que en dichas instituciones trabajan individuos situados en los puestos más avanzados de la ciencia. La imaginación de tales científicos es capaz, según palabras de Bacon, de "ensancharse y alargarse", a medida que se van acumulando conocimientos, con el fin de abarcar el cuadro de la estructura de todo el universo. El resultado es que en semejantes facultades se crea una atmósfera propicia a la creación, un estado de ánimo de seguridad en el éxito, capaz de despertar entre los jóvenes un profundo entusiasmo por la ciencia.

De esta suerte diría yo que son tres los hechos que pueden servir para justificar los grandes gastos en la ciencia teórica. El primero estriba en la influencia que ésta ejerce sobre el desarrollo general de la ciencia y sobre la imagen científica que del mundo nos formamos. El segundo está en las consecuencias prácticas que directa o indirectamente se desprenden del progreso científico en general, consecuencias que presentan la forma de logros radicalmente nuevos en la industria o de perfeccionamientos en la actividad práctica. Y finalmente el tercer hecho estriba en que el progreso del saber —elemento esencial para que reine un sano espíritu en nuestras universidades y demás instituciones de enseñanza superior— no puede darse sin que los científicos que trabajen en los centros indicados participen en investigaciones exactas concernientes a los puestos avanzados de la ciencia, importantes por principio para toda nuestra cultura.

Dificultades relacionadas con el cambio de los métodos científicos

Se dice a veces que cincuenta años atrás no existía la ciencia como tal, y que aquél era el período de la "prehistoria" de la época científica. Esta frase me inquieta vivamente. Implica una apreciación demasiado baja de la actividad de nuestros predecesores, pues en realidad nos alzamos sobre los hombros de gigantes. Cierto, poseer medios suficientes constituye una gran ventaja. M. Sklodowska Curie, en un discurso que pronunció en la Sorbona en 1924, dijo: "Es verdad que el descubrimiento del radio se hizo en condiciones poco seguras y la cortina que lo cubrió se recuerda ahora nimbada por el encanto de la leyenda. Pero este elemento romántico no representaba una ventaja. Agotaba nuestras fuerzas y hacía más lenta la realización. Si hubiéramos dispuesto de medios más perfeccionados habríamos podido reducir a dos los primeros cinco años de nuestro trabajo, y habría sido menor la tensión de nuestro esfuerzo. La experiencia del pasado no ha de perderse para el futuro". Y a pesar de que disponer de recursos tan importantes como los que ahora poseemos constituye una gran ventaja, no representa todavía un méri-

to. De nosotros se juzgará por lo que logremos con los recursos aludidos, por la calidad y la fuerza de nuestra inspiración. Nos hallamos en una situación en que no podemos ser arrogantes ni presuntuosos.

La ciencia de los últimos setenta años se me figura como la de un siglo de oro, y nuestra misión principal consiste en hacer que se prolongue. En el pasado, los períodos de máximos logros eran breves y poco firmes; sus principales creadores constituían un fenómeno raro; no era menos rara la combinación favorable de situaciones e influencias que formaban el terreno histórico-social de los descubrimientos. En nuestro tiempo, si bien es verdad que la ciencia y la técnica ejercen una influencia enorme sobre nuestra sociedad, no es menos cierto que ellas mismas dependen del ambiente general que reina, de la actitud que ante la ciencia existe, de la alta estima que por ella se tiene. El progreso nunca se realiza automáticamente. Son muchos los inquietantes signos de los tiempos que así nos lo demuestran. Facilitar los correspondientes recursos es condición necesaria, pero no suficiente para llevar a cabo un trabajo científico de altos vuelos. Sabido es, hace ya mucho tiempo, que se necesitan, además, decisión, pasión e imaginación. Erasistrato dijo en cierta ocasión: "Quienes no están habituados a realizar investigaciones científicas, se desconciertan y pronto renuncian a superar la primera prueba que se les presenta por falta de aptitudes intelectuales y por fatiga. Recuerdan a aquel que, sin entrenarse, intenta competir en velocidad. En cambio, el investigador experimentado es flexible e ingenioso a la hora de realizar sus experimentos; no renuncia a la búsqueda ni siquiera si se ve precisado a trabajar no ya día y noche, sino, diría yo, la vida entera. Sin detenerse, trasladará su atención de una cosa, que por lo visto atañe a su problema, a otra hasta que llegue a resolverlo".

La cita transcrita caracteriza el tipo de entusiasmo apasionado que ha estimulado siempre la actividad científica creadora; nosotros hemos de esforzarnos por conservar semejante actitud ante la ciencia en las condiciones extremadamente mudables de nuestra época. Ello es esencial para que la propia ciencia avance con éxito en un período de gran euforia científica; al mismo tiempo es el mejor procedimiento para hacer humana y fuente de satisfacciones la vida del hombre. Desde luego, éste ha de ser el objetivo de la industria del futuro. Pero ni la gran ciencia puede desenvolverse con éxito si se pierde de vista dicho objetivo. No obstante existe el peligro de que lo perdamos. Temo que exista la tendencia a deshumanizar la ciencia.

Se dan dificultades que pesan, sin ser las más importantes, y que se derivan del inevitable cambio de escala de las operaciones en las esferas del saber más delicadas por sus métodos, y de las exigencias, totalmente nuevas, que, en consecuencia, se imponen a los científicos. Los hombres de ciencia se ven obligados a trabajar en grandes equipos, separados largo tiempo de sus hogares y de sus familias; por lo general, logran participar sólo en muy modesta medida en los grandes descubrimientos; el carácter del trabajo requiere una disciplina

rigurosa, largas horas de trabajo, una planificación escrupulosa y firme, así como la observación puntualísima de un determinado horario.

Cambios semejantes ya se observaron al pasar del trabajo manual a la gran producción fabril y a la industria moderna. En este terreno, la consecuencia de los cambios en el carácter del trabajo suele ser que el artesano no encuentra donde aplicar su imaginación creadora, de suerte que su auténtica vida comienza tan solo cuando se libera del trabajo abrumador.

Verdad es que la analogía entre la ciencia contemporánea y la industria no debe llevarse demasiado lejos, pues en la ciencia raras veces seguimos un mismo camino, pero está fuera de toda duda que semejante situación resulta incompatible con la auténtica actividad científica. Obsérvese que este problema se había superado ya en el pasado. La construcción del Partenón de Atenas exigió unos gastos relativamente mayores que las inversiones asignadas a la erección de grandes empresas científicas en nuestra sociedad. Si hacemos los diseños de un Partenón de grandes dimensiones e intentamos plasmarlos en la realidad, obtendremos, como es lógico, un edificio, pero en él se percibirá con toda evidencia la falta de imaginación de su autor. El original constituye realmente el trabajo gigantesco de un escultor, y la sutileza de las líneas se pierde si la dimensión es muy grande, incluso en los diseños geométricos. He oído contar que cada una de las columnas del edificio original se encargó a un maestro cantero quien, junto con sus aprendices, trabajó en ella cerca de un año. Es evidente que esos operarios tenían una idea clara del lugar que su trabajo ocupaba en la labor general, y que semejante actividad imprimía su sello en su gusto y en su maestría. La experiencia del pasado no ha de perderse para el futuro. Hay que mantener en nuestras instituciones condiciones de trabajo suficientemente interesantes y que estimulen la rivalidad si queremos obtener resultados auténticamente constructivos.

En los grandes centros que se ocupan de la física de las partículas por lo visto las cosas marchan bien, pues su objeto sigue atrayendo a un número creciente de jóvenes de talento que se consagran a la ciencia. Esto constituye un testimonio palpable de la vitalidad de dicho objeto y de que ofrece amplias perspectivas. El Partenón se construyó antes de que se produjera la inevitable división entre arquitectos y constructores, y para nuestras grandes instituciones científicas es de primordialísima importancia que la planificación de las investigaciones y su realización se encuentren en unas mismas manos: en las manos de los científicos. Por lo visto, ahora, lo mismo que cuando se construyó el Partenón, cabe organizar el trabajo por grupos de tal suerte que se ofrezca realmente un amplio horizonte a la originalidad y a la maestría y hemos de estar convencidos de que también en el futuro nos será posible mantener ese mismo espíritu.

Peligros que se alzan en la vía del progreso científico

Pero en la situación actual existen asimismo circunstancias más serias. Ante todo, el saludable papel de la ciencia, que aparecía como instrumento del progreso humano, tal como lo proclamaban muchos de sus partidarios en la aurora de nuestra época, se pone ahora en duda. Esto presupone un gran peligro, pues puede entorpecer el progreso de la ciencia en mayor medida la falta de personas bien dotadas para cultivarla que las limitaciones en los recursos que se le asignen.

En algunos países los jóvenes se ven obligados a apartarse de la ciencia a pesar de la inclinación que por ella sienten. Se dan cuenta, y esto es inevitable, que a pesar del enorme provecho material que en los países más adelantados proporcionan el desarrollo de la ciencia y su aprovechamiento, y a pesar de las posibilidades potenciales de la ciencia en este plano a escala mundial, es muy poco probable que dichas posibilidades se aprovechen. Al contrario, los países ricos se hacen más ricos, y los pobres se vuelven más pobres. El hecho afecta no sólo al abastecimiento en productos alimenticios, o a la técnica, sino, también, a la misma ciencia.

La ciencia, lejos de convertirse en un gran elemento creador de la nueva cultura mundial, tiende a localizarse en los Estados altamente desarrollados en el aspecto científico. Esta tendencia cobra más fuerza con el desplazamiento de una sensible parte de los jóvenes mejor dotados, que se trasladan de sus propios países —donde tan necesarios son para el florecimiento de la ciencia— a países más ricos. Y es que sólo en éstos la realización de grandes investigaciones en el sector por ellos elegido adquiere sentido y valor. Así, mientras que el progreso de la ciencia en los países poco desarrollados es lento y desigual (y en verdad no sabemos nosotros cómo ayudarles eficazmente) en los países adelantados una parte cada vez mayor de las ramas de la ciencia estimulada con grandes inversiones materiales, se orienta hacia la producción de armamentos y hacia el perfeccionamiento de las armas de destrucción en masa. Semejantes tendencias no alcanzan una misma intensidad en los diversos países; mas si no se toman medidas eficientes con vistas a su superación, ejercerán una influencia nefasta sobre el futuro desarrollo de la ciencia en el mundo entero.

Por consiguiente, en interés de la propia ciencia, por no hablar ya de sus amplias y fundamentales aplicaciones, es importante que por lo menos algunos científicos (y cuanto mayor sea su número, tanto mejor) sean capaces de no circunscribirse exclusivamente a sus especialidades y de no permanecer indiferentes a las consecuencias de sus descubrimientos. Importa que puedan contribuir activamente a resolver algunos problemas serios y muy difíciles, consagrando a ello parte de su tiempo y de sus energías. Se trata de problemas relacionados con el vigoroso progreso de la ciencia y se ciernen sobre todos, cual amenazadora nube, independientemente de lo que pensemos o haga-

mos. Si no somos capaces de asegurar la paz en la tierra, se verá en peligro toda la humanidad, pero la ciencia puede perder el ritmo de su crecimiento incluso si no estalla la guerra mundial, con empleo de armas nucleares.

No me parece que tenga sentido detenerse a examinar aquí otra cuestión: la de que la ciencia teórica y la técnica en el sentido más amplio de la palabra constituyen elementos necesarios de la cultura humana. En nuestra época, al hombre culto que aspira a desempeñar un cargo en la administración o a ocupar un elevado puesto estatal ya no le basta el conocimiento de las ciencias humanísticas y del arte. Sin embargo, en algunos países a la ciencia no se le dedica la atención debida, y esta actitud se da por supuesta en silencio y a veces hasta se enuncia abiertamente.

Es de excepcional importancia que se vea la ciencia universal como un arma magna del progreso humano, y que su función adquiera cada vez mayor relieve tanto en el sistema educativo como en toda la vida social. En muchos países, incluyendo el mío, la inmensa mayoría de la población no adquiere los debidos conocimientos científicos en la escuela, y la ciencia se encuentra casi al margen de la cultura general.

Finalmente, una última consideración. He hablado de las pérdidas que acarrea el desplazamiento de estudiantes de países menos desarrollados a otros que lo son más. Pero todavía constituye un hecho más grave el que, pese a nuestra gran necesidad de personas de talento en toda clase de actividades, muchas mentes potencialmente bien dotadas incluso en los países relativamente prósperos, quedan frustradas sobre todo en la edad juvenil. Se ha calculado, por ejemplo, que en mi propio país las aptitudes de cerca de un 30 % de los niños no alcanzarán nunca el debido desarrollo a consecuencia de las condiciones sociales en que esos niños viven. Un inspector de escuelas declaró hace poco tiempo que una gran parte de los párvulos que se disponen a ingresar en ciertas escuelas están condenados ya a ser indóciles porque en sus hogares casi todas sus relaciones con los padres adquieren la forma de amonestaciones o de burdas injurias. En muchos países en que predomina la pobreza y los padres se encuentran bajo el yugo más duro de la miseria, dicha proporción ha de ser sensiblemente mayor.

La función de las instituciones científicas internacionales

La fundación de instituciones científicas internacionales puede contribuir a resolver algunos de estos problemas. La experiencia demuestra que si tales centros están bien organizados y gozan de la suficiente independencia, el hecho de que en ellos participen científicos de diversas nacionalidades no provoca dificultades especiales, antes al contrario, hasta contribuye a fortalecerlos en sensible grado. Nada une tanto a las personas como la colaboración efectiva al resolver problemas complejos y actuales; y el trabajo conjunto no hace

sino volverse más fecundo cuando diferentes naciones pueden poner de manifiesto, en él, aquellas de sus cualidades que las distinguen favorablemente.

Las grandes instituciones científicas internacionales, si están bien meditadas y organizadas, pueden contribuir a fomentar la comprensión recíproca y la simpatía entre las naciones. Pueden ayudar a los Estados pequeños a encontrar condiciones de trabajo estimulantes para algunos jóvenes, los mejor dotados, y detener su emigración. De este modo pueden favorecer la estrecha aproximación de la ciencia más avanzada con la propia cultura de dichos Estados. Es más, pueden parar y convertir el proceso que con frecuencia denominamos agotamiento del cerebro sustituyéndolo por un mutuo enriquecimiento de la ciencia y de la cultura.

Existe una esperanza plenamente fundada de que en torno a los centros nacionales y científicos se desenvuelva una colaboración todavía más amplia. Los centros existentes servirán para coordinar esfuerzos y nos será posible seleccionar cuidadosamente, de los países más diversos, los especialistas de talento que nos son necesarios, sin derrochar en vano medios económicos y esfuerzos humanos.

Creo que es imposible prever cómo será realmente la sociedad del futuro, pero una cosa es indudable: que sólo puede crearse después de numerosas experiencias de feliz colaboración en muchas ramas, que será precisamente en la ciencia, donde trabajamos en común tan fructífera y eficientemente, donde se darán los primeros pasos en esta dirección. Quién sabe, tal vez los centros dedicados al estudio de la física de las partículas elementales y las instituciones análogas en otros campos llevarán a la creación de una academia internacional cuyo fin no sólo se cifre en el progreso de la ciencia en todo el mundo, sino, además en contribuir a que reine la paz en la tierra. Únicamente en un mundo sin guerras puede realizarse el auténtico destino de la ciencia: servir de instrumento para el progreso de la humanidad.

SIOITI SAKATA
Profesor de la Universidad de Nagoya
(Japón)

LA TEORÍA DE LAS PARTÍCULAS ELEMENTALES Y ALGUNOS DE SUS PROBLEMAS FILOSÓFICOS

Cualquiera sea la actitud que adopten los naturalistas, sobre ellos impera la filosofía.

F. Engels

Tres puntos de vista sobre las partículas elementales

Sólo será posible responder con acierto a la pregunta de "¿Qué son las partículas elementales?" cuando la teoría que sobre ellas existe hoy adquiera una forma más perfecta, más desarrollada. Ello no obstante, quienes se dedican a su investigación necesitan ante todo concebirlas según un determinado punto de vista. Tal punto de vista influye en la comprensión de la materia y de la naturaleza, en la concepción del mundo, y condiciona, asimismo, la metodología que se aplica al investigar dichas partículas. Los físicos de la actualidad mantienen sobre estas últimas diferentes puntos de vista, que pueden dividirse, hablando esquemáticamente, en tres.

1) El punto de vista metafísico, según el cual las partículas elementales, de modo análogo a los átomos de Demócrito, constituyen los elementos primarios de la materia. Quienes sostienen semejante punto de vista consideran las leyes del movimiento de las partículas elementales como leyes absolutas, y la teoría cuántica del campo como una teoría perdurable.

2) El punto de vista positivista según el cual las partículas elementales no son más que conceptos establecidos para describir cómodamente los fenómenos físicos. Para los partidarios de este punto de vista, el objetivo de la física estriba sólo en buscar las correlaciones entre los datos experimentales.

3) El punto de vista dialéctico, según el cual cada uno de los conceptos tales como "molécula", "átomo", "núcleo atómico" y "partícula elemental" corresponde a uno de los innumerables niveles de la estructura de la materia. En cada nivel actúan leyes del movimiento que le son propias.

El primer punto de vista corresponde al materialismo metafísico. Es materialista porque reconoce que las partículas elementales son una realidad objetiva. Constituye un dogma metafísico, pues considera las partículas elementales como elementos primarios de la materia, y adopta una postura acrítica que sólo se justifica en una determinada fase de la evolución de la técnica experimental.

El segundo punto de vista está relacionado con el idealismo. A pesar de haberse manifestado contra el primero, en esencia es su acompañante, y también está condenado a caer en el dogmatismo. Cabe afirmar que la mayor parte de los físicos de nuestra época oscilan entre los dos primeros puntos de vista.

El tercer punto de vista se apoya en el materialismo dialéctico. Ya en la segunda mitad del siglo XIX Engels afirmaba que los conceptos atomísticos debían concebirse como niveles de la estructura de la materia. En su *Dialéctica de la naturaleza* escribió: "La nueva atomística se diferencia de todas las anteriores en que no afirma (si no hablamos de los borricos) que la materia *sólo* es discreta, sino que reconoce que las partes discretas de los diversos grados (los átomos del éter, los átomos químicos, las masas y los cuerpos celestes) constituyen distintos *puntos esenciales* que condicionan las diversas formas *cualitativas* de la existencia de la materia universal..." (1). El desarrollo de la física atómica del siglo XX ha confirmado plenamente el acierto de dicha afirmación.

La situación de la teoría atómica a comienzos de nuestro siglo se parecía tanto a la situación actual de la teoría de las partículas elementales que cabría describir esos dos períodos en el desenvolvimiento de la física con unas mismas palabras si se sustituyera la expresión "partículas elementales" por el vocablo "átomo", y la expresión "teoría cuántica del campo" por la de "mecánica newtoniana".

La polémica entre Boltzmann, Planck y otros físicos situados en el primer punto de vista, y los que, como Ostwald, Mach y otros, defendían el segundo punto de vista es bien conocida como contradicción entre la atomística y la energética. La miseria de la filosofía hizo que se repitieran tales discusiones inútiles cuando se descubrió la existencia del electrón y se inició el estudio de sus propiedades. Entonces los físicos creían firmemente en la invariabilidad y la indivisibilidad del átomo y consideraban la mecánica de Newton como una teoría perpetua, que abarcaba todos los movimientos, desde los cuerpos celestes hasta el átomo.

Mas, una serie de importantes descubrimientos (el electrón, los rayos Roentgen, etc.), en particular el del "gran revolucionario", el

(1) *C. Marx y F. Engels*, "Obras", t. XX, págs. 608-609.

radio, destruyeron esas ilusiones y provocaron la crisis de la física de que habló Poincaré en su libro *El valor de la ciencia*. Cuando los físicos que mantenían el primer punto de vista quedaron sumidos en la mayor confusión, se manifestaron personas desde el segundo punto de vista, que tampoco estaban en condiciones de salvar de la crisis a la física.

Lenin, en *Materialismo y empiriocriticismo*, analizó a fondo esa crisis y recalcó que para salir de ella a la física no le quedaba otro remedio que aceptar el tercer punto de vista. Mas en aquel entonces ningún físico lo mantenía. Más tarde, la naturaleza obligó a los físicos a avanzar a tientas por el camino que Engels y Lenin habían anticipado. Se descubrieron la estructura escalonada de la materia: átomo —núcleo atómico— partícula elemental, y las leyes del movimiento imperantes en las nuevas condiciones, es decir, la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica. En consonancia con las palabras de Engels: "La naturaleza es la piedra de toque de la dialéctica", la práctica espontánea de los físicos descubrió la certeza de la representación dialéctica.

Cuando la física penetra en la esfera de los fenómenos que responden al nuevo nivel de la naturaleza, al instante dejan de ser válidos los conceptos y las leyes formulados cuando se investiga el viejo nivel, ya que en este caso sólo podemos confiar en los hechos de la experiencia. Es muy natural que la investigación de un nuevo nivel empiece por la fase descriptiva de los fenómenos, es decir, por el "grado de estudio de los fenómenos". Mas si en esta fase cegados por la pasión de investigar los nuevos fenómenos perdiéramos toda confianza en lo viejo, desembocaríamos en el positivismo, que duda de la realidad objetiva de las cosas y se limita a un empirismo estricto. Por esta causa, precisamente, se explica la difusión del segundo punto de vista a principios del siglo XX y la fuerte tendencia positivista en el seno de la escuela de Copenhague al crearse la mecánica cuántica. Sin embargo, el auténtico desarrollo de la física con el subsiguiente descubrimiento de una cantidad enorme de hechos indujo a los científicos a abandonar las posiciones conservadoras. Venció el empirismo de algunos científicos, puso de manifiesto la estructura del átomo y descubrió las leyes del movimiento que rigen en el nuevo nivel de la materia, es decir, la mecánica cuántica. El profesor Mitsuo Taketani [2] denominó "grado de estudio de la substancia" el grado de conocimiento en que se descubre la estructura de los objetos tras los fenómenos, y "grado de estudio de la esencia" el grado de conocimiento en que se comprenden los diversos fenómenos del nuevo nivel y se encuentran las leyes propias que en él actúan. Profundizar en el conocimiento de la naturaleza, dijo, es un proceso dialéctico que se desarrolla en espiral cuyas vueltas pasan por tres fases: "estudio del fenómeno", "estudio de la substancia" y "estudio de la esencia". Esta teoría de las tres fases, propuesta por Taketani, se funda y se

(2) Ver *M. Taketani*, "Cuestiones de la dialéctica" (en lengua japonesa). Tokio, 1948.

apoya en la estructura escalonada de la naturaleza, es decir, en la dialéctica de la naturaleza, y constituye una metodología efectiva que sólo los partidarios del tercer punto de vista supieron crear. La teoría contemporánea de las partículas elementales se diferencia de la anterior teoría atómica, en particular, por el hecho de que han aparecido físicos situados en el tercer punto de vista.

Los puntos de vista sobre las partículas elementales y la interpretación copenhaguiana de la mecánica cuántica

Una de las causas de que entre muchos físicos se difundiera la concepción de las partículas elementales como elementos primarios de la materia estriba en que la teoría utilizada para describir la génesis, la destrucción, la dispersión y las desintegraciones de dichas partículas es la teoría cuántica del campo basada en un modelo puntiforme. Hablando en propiedad sólo es posible considerar las partículas elementales como puntos matemáticos cuando se examina una zona de dimensiones grandes en comparación con la cual cabe desdeñar la estructura interna de tales partículas. Sin embargo, no bien esa teoría (con su instrumental matemático) se ha desarrollado y ha alcanzado cierto éxito, los científicos se han olvidado a menudo del carácter aproximado de la misma y fácilmente han creado la ilusión de que el propio objeto de estudio es un punto matemático. En este caso, los puntos matemáticos constituyen una especie de elementos primarios carentes de estructura. Esto lleva inevitablemente a afirmar que las partículas elementales también son elementos primarios de la materia. Y resulta totalmente absurdo que las partículas elementales sean puntos geométricos.

Sin embargo, muchos físicos, cayendo en un misticismo matemático que recuerda el de la escuela de Pitágoras, no perciben la extravagancia de esta afirmación. Algunos, dando unos pasos más hacia el positivismo y creyendo en la omnipotencia de las ecuaciones matemáticas, quedan satisfechos con que los resultados de estas ecuaciones concuerden con las experiencias.

Este criterio de los físicos actuales, a final de cuentas se halla en estrecho vínculo con la interpretación copenhaguiana de la mecánica cuántica, ampliamente difundida entre ellos. Uno de los rasgos de dicha interpretación estriba en que al describir el movimiento de cierto sistema, estimando como dada la ecuación de Schrödinger, examina tan solo —basándose en la lógica de la complementariedad— el problema de cómo inferir de dicha ecuación tal o cual fenómeno. La realidad es, sin embargo, que cuando queremos aplicar la mecánica cuántica a cierto objeto, hay que comenzar ante todo con la ecuación de Schrödinger. Entonces necesitamos un "conocimiento substancial", es decir, necesitamos saber de qué elementos consta el objeto dado y qué fuerzas actúan entre ellos. El ejemplo del sistema del átomo puede convencernos de que al principio adquirimos un conocimiento acerca de la estructura del átomo, es decir, se vio que

éste se compone de un núcleo atómico y de electrones en movimiento con fuerzas eléctricas que actúan entre ellos. Sólo posteriormente se dedujo la ecuación de Schrödinger, a la que se subordina el movimiento de las partículas atómicas. Bohr caracterizó este punto como "principio de correspondencia" y apreció acertadamente su valor heurístico.

Taketani, fundándose en su teoría de las tres fases del conocimiento, señaló ese punto como momento necesario en la estructura de las teorías físicas y subrayó más todavía su trascendencia.

Mientras nos movemos en una zona en que se ha obtenido ya un "conocimiento substancial", la interpretación copenhaguiana, fundada en la lógica de la complementariedad, se aplica con éxito. En realidad su amplia difusión se explica porque la mecánica cuántica en un principio se aplicaba sólo a los sistemas de los átomos. Como quiera que la estructura atómica ya se conocía, el "conocimiento substancial" era constante y podía considerarse como dado. Cabe decir que esta situación histórica de las cosas provocó una tendencia positivista como la de subestimar el "conocimiento substancial" y renunciar al modelo.

Por otra parte, cuando la física penetra en una zona en que se necesita un nuevo "conocimiento substancial", una lógica tan superficial como es la del "principio de complementariedad" resulta impotente y no sabe qué hacer. Recordemos el fracaso que sufrió la escuela de Copenhague en la investigación de los núcleos atómicos. A pesar de que la mayor parte de los físicos sentía profunda aversión por la introducción de nuevas partículas elementales, en el ulterior avance pesaron en gran medida el descubrimiento del neutrón y el progreso de la teoría mesónica. El principio de complementariedad resultó ser, por decirlo así, la lógica del espectador y no la del práctico.

Los filósofos materialistas han criticado muchas veces, desde hace tiempo, el carácter positivista de la interpretación copenhaguiana. La esterilidad de esta crítica tiene su causa en que los mismos críticos se situaban en la perspectiva del espectador. Después de que, recientemente, Bohm, Vigier, Takabaiashi y otros han señalado la posibilidad de una nueva interpretación de la mecánica cuántica, se ha reanudado la polémica en torno al problema. A mi modo de ver, es necesario volver a la posición de la práctica y valorar con acierto la interpretación propuesta por Taketani.

Es necesario señalar un importante adelanto en este dominio. La mecánica cuántica ha revelado la existencia de un estrecho lazo entre el objeto de investigación y el instrumento de medida. Es digno de atención que exista el teorema de Neumann en el que se afirma la independencia del resultado de la medición respecto al lugar de la línea divisoria entre ambos. Si, en consonancia con la interpretación copenhaguiana, ampliamos ese teorema y suponemos que del instrumento de medición queda tan solo el "yo abstracto" del observador, nos veremos obligados a considerar que la perturbación del estado del objeto que sigue al acto de medir es provocada por la "intervención del sujeto". Éste es un ejemplo del carácter positivista de la

interpretación copenhaguiana. Pese a ello, Taketani [3] señaló el error que supone afirmar la movilidad de la línea divisoria, y subrayó que el límite de movilidad de dicha línea se encuentra en la linde de las áreas macroscópica y microscópica. En este caso, la perturbación del estado provocada por la observación, puede considerarse como un proceso objetivo y cabe negar al idealismo sus pretensiones. No hace mucho Green [4] demostró la justeza de este pronóstico recurriendo a un simple modelo. El error de Neumann consistía en aplicar la mecánica cuántica a un instrumento de medición a pesar de que éste constituye un sistema macroscópico. Con esto se pone de manifiesto la insuficiencia del pensar no dialéctico, que desdeña la existencia de la estructura escalonada de la materia.

Al hallar la causa del carácter estadístico de la mecánica cuántica en los "parámetros ocultos", Bohm y otros tenían la intención de mostrar la posibilidad de la interpretación causal en el espíritu clásico. Semejantes tentativas, repetidas ya por autores muy aferrados a los envejecidos conceptos de la física clásica, por sí mismas no dan nada de esencial. La verdad es que los "parámetros ocultos" resultan innecesarios dentro de los límites de aplicabilidad de la mecánica cuántica incluso sin referencia a la demostración matemática de Neumann. Heisenberg dijo que el intento de hallar ahora "parámetros ocultos" recuerda la tentativa de hallar "el fin de la Tierra" después de los viajes de Colón y de Magallanes. Eso es totalmente cierto en el nivel cuántico. El error de la escuela copenhaguiana estriba más bien en que, considerando la mecánica cuántica como una teoría definitiva, esta escuela no reconoce la existencia del nivel subcuántico. Tan solo cabe atribuir un nuevo valor a los trabajos de Bohm y de otros autores cuando se examinan en relación con los problemas de la estructura interna de las partículas elementales.

Los físicos han estimado como viciosa la reciente tentativa de reconocer la estructura de las partículas elementales. Esto puede explicarse como una especie de expansión de la "niebla copenhaguiana" surgida de la filosofía de la complementariedad. Desde luego, el modelo puntiforme de las partículas elementales se ha criticado hace tiempo a causa de la dificultad de la divergencia. Ahora bien, se dudaba del modelo puntiforme respecto a su faceta matemática, pero no en su aspecto físico, es decir, respecto a la estructura de su objeto. Algunos físicos se han esforzado en hallar el procedimiento matemático de eliminar la divergencia, pero nadie ha querido resolver el problema partiendo de la idea del nivel subcuántico, que se encuentra tras las partículas elementales.

Los científicos que consideran las partículas elementales como elementos primarios de la materia, estiman asimismo perdurable la teoría cuántica del campo. A su juicio, la física llegará al término de aquélla en una época muy próxima si se logra superar la dificultad de la divergencia. Esta convicción se ha afianzado después de que el pro-

---

(3) Ver *M. Taketani*, "Cuestiones de la dialéctica"
(4) *H. S. Green*, "Nuovo cimento" 9, 880 (1958).

fesor Tomonaga y otros han descubierto el método de la novo-regulación, es decir, el método de apartarse magistralmente de la dificultad de la divergencia. Sin embargo, cuando se examina con más profundidad este problema, resulta claro que este punto de vista es erróneo, dado que para llevar a cabo la novo-regulación es necesario haber resuelto ya, por el procedimiento que sea, la dificultad de la divergencia. Además, sólo pueden novo-regularse las interacciones de formas especiales denominadas primera serie. Ahora bien, parece muy poco probable que en la teoría cuántica del campo pueda hallarse una garantía de que se proporcionen tales condiciones.

La idea de que la teoría cuántica del campo no tenía un carácter definitivo la expuso por primera vez Bohr en 1930. En aquel entonces, los únicos elementos estructurales de la materia que se conocían eran los electrones y los protones, y la teoría cuántica del campo se concebía como electrodinámica cuántica que describía la acción recíproca entre estas partículas y el campo electromagnético. En las conferencias faradayanas de la Sociedad Química de Inglaterra, Bohr señaló, por una parte, los éxitos de la mecánica cuántica, y por otra parte habló de las deficiencias de dicha mecánica y de su carácter limitado. Se refirió luego a la relación de la masa del protón con la masa del electrón y a la magnitud constante de la interacción electromagnética como problemas insolubles en el marco de la teoría cuántica del campo. Hoy, cuando el número de especies de partículas elementales ha aumentado sensiblemente y se han descubierto nuevas interacciones, la fuerte y la débil, las dos cuestiones indicadas se generalizan en el problema de crear el espectro de las masas de partículas elementales y la estructura de sus interacciones. Esos dos momentos se han introducido en la teoría cuántica del campo como "valor substancial"; no existe ningún principio para determinar la forma de esos momentos, es decir, ninguna *causa formalis* en la teoría cuántica del campo.

En cada teoría, hablando en términos generales, existen siempre elementos de casualidad. Si queremos comprender la casualidad como cierta manifestación de la necesidad, es preciso investigar un nivel más profundo que el que estudia la teoría dada. Según la representación dialéctica de la naturaleza, no sólo no existe ningún elemento "primario" de la materia, sino que tampoco se puede admitir una "teoría definitiva". Si contra nuestra voluntad consideramos una teoría como definitiva, nos veremos obligados a llegar a la conclusión de que todos los elementos de lo casual en dicha teoría los da la "providencia". Entonces la ciencia deja de desenvolverse y la teología ocupa su lugar.

La concepción dialéctica de las partículas elementales y el modelo compuesto

En 1956 presenté un modelo compuesto [5] de las partículas elementales fundado en la concepción dialéctica —que considera dichas partículas como uno de los niveles de la estructura de la materia— y en la metodología de Taketana, que señala el tránsito de la "fase de estudio del fenómeno" a la "fase de estudio de la substancia". En este modelo de las partículas elementales pertenecientes a la familia de los bariones y de los mesones, tres de ellas, es decir, el protón, el neutrón y la partícula λ, se consideran como "fundamentales", y todas las demás, como componentes de las tres citadas y de las correspondientes antipartículas. En este caso, la conversión recíproca de las partículas elementales provocada por una fuerte interacción, se atribuye en último término a las divisiones y uniones de las partículas fundamentales. Esto recuerda que las divisiones y las uniones de los átomos se ven como causa de la reacción química. De ahí que la hipótesis de que existen partículas "fundamentales", según la ley de Nikano - Nishijima - Gell-Mann, se compara con el hallazgo de los átomos según las leyes de la constancia de constitución y de las relaciones múltiples. Ese modelo llamó la atención, pues no sólo servía de base "substancial" para la estructura de la interacción fuerte, sino que, además, permitía explicar el espectro de las masas de las partículas componentes y preveía la existencia de partículas de resonancia, que entonces se estaban descubriendo.

Después, la acumulación de muchos dátos experimentales sobre las partículas de resonancia y el desarrollo del método teórico de grupos, por una parte han demostrado la legitimidad del modelo compuesto y por otra han exigido rectificaciones. En particular, respecto a la clasificación de la familia del barion, Gell-Mann y Neumann han indicado que es preferible asignar el protón, el neutrón y la partícula λ al octeto junto con las partículas Σ^- y Ξ^-. Si esta afirmación resulta acertada, no hay que considerar el protón real, el neutrón y la partícula λ como partículas fundamentales del modelo compuesto, sino que es necesario considerar que existen "partículas más fundamentales" con semejante propiedad. Actualmente hay muchas posibilidades de responder a la pregunta de "¿Qué son las auténticas partículas fundamentales?", y es imposible llegar a una conclusión unívoca [6]. El esquema más sencillo y más próximo a mi modelo es el de los "quarks" propuesto por Gell-Mann. Los "quarks" tienen muchas propiedades extrañas, como cargas eléctricas fraccionarias, etc. No hay que preocuparse por ello, ya que los "quarks" pertenecen al nivel subcuántico. Me preocupan más bien la actual difusión del método teórico de grupos, el predominio del erróneo

---

(5) Ver *S. Sakata*, "Nuevas representaciones sobre las partículas elementales". "Voprosi filosofii", 1962, Nº 6.

(6) Ver mi artículo en "Supplement of Progress of Theoretical Physics. Extra Number" (1965).

punto de vista que, tratando la simetría como principio definitivo, considera que la introducción de la "substancia" bajo el aspecto de "quarks" no es otra cosa que una manera de hallar tal principio.

No cabe la menor duda de que los modelos de las partículas elementales cambiarán de forma concreta a medida que vaya progresando la técnica experimental. Establecer una forma determinada y atenerse firmemente a ella es una posición metafísica que nada tiene de común con el punto de vista dialéctico. Sin embargo, hay que desarrollar sin límites el "método del modelo compuesto", basado en la representación dialéctica de la naturaleza, que concibe las partículas elementales como uno de los niveles de la estructura de la materia, y ello en contraposición a la filosofía positivista. Lenin, gran filósofo, indicó: el electrón también es inagotable.

V. S. BARÁSHENKOV
Doctor en ciencias físico-matemáticas

D. I. BLOJÍNTSEV
Miembro correspondiente de la Academia de Ciencias de la U.R.S.S.

LA IDEA DE LENIN SOBRE LA INAGOTABILIDAD DE LA MATERIA EN LA FÍSICA CONTEMPORÁNEA

El comienzo de nuestro siglo se distinguió por una deslumbrante floración de notables descubrimientos físicos. Y se trataba de unos descubrimientos estrechamente relacionados con problemas filosóficos generales, pues afectaban a las representaciones básicas acerca del mundo que nos rodea.

Por una parte, los descubrimientos aludidos presentaban un carácter paradójico, que modificaba radicalmente la concepción habitual, al parecer evidentísima, de la estructura de la substancia y las propiedades del espacio y del tiempo; por otra parte, había representaciones injustificadas sobre la estructura de algunos conceptos físicos generales e imprecisión en las ideas filosóficas. Todo ello dio origen a una serie de conclusiones filosóficas y generalizaciones profundamente erróneas. Una de tales conclusiones se refería a la ilegítima identificación de la masa con la materia (con su "cantidad"). La materia se reducía a la categoría de campo electromagnético (recordemos que el desarrollo de la teoría electrónica condujo, en aquella etapa, a la conclusión de que la masa de la partícula es de origen electromagnético), el propio campo se consideraba como cierta esencia no material. Muchos suponían que, por este camino, la física había fundamentado el hecho de la "desaparición de la materia".

Lenin no era físico, pero sí un brillante filósofo, y pudo eliminar las dificultades que no podían superar los propios físicos. En *Materialismo y empiriocriticismo* y en otros trabajos, demostró con toda precisión y claridad que la línea divisoria entre el materialismo y el idealismo no estaba determinada en absoluto por el origen electro-

magnético u otro cualquiera —que tuviera la masa del electrón—. "La materia desaparece —escribió Lenin—: quiere decir que el límite hasta el que conocíamos la materia hasta ahora, se esfuma, y que nuestro conocimiento se profundiza; desaparecen propiedades de la materia que anteriormente nos parecían absolutas, inmutables, primarias... y que hoy se revelan como relativas, inherentes solamente a ciertos estados de la materia" (1).

Prosiguiendo el desarrollo de esta idea, Lenin formula la admirable tesis de la "inagotabilidad del electrón", tesis cuyo significado consistía en que la investigación científica del electrón podía llegar a ser tan profunda como se quisiera y aportar siempre datos nuevos acerca de esa realidad. Esta importantísima tesis filosófica ha ejercido una influencia muy poderosa en la concepción que del mundo se han formado varias generaciones de físicos, y hoy en día constituye uno de los principios metodológicos esenciales de la investigación física. En la naturaleza no existen objetos "elementales" de ninguna clase absolutamente simples; todos los objetos físicos tienen una cantidad infinita de propiedades, poseen una estructura interna compleja. En cada nueva etapa de investigación dicha estructura puede diferenciarse en alto grado de aquello con que se encontraban los físicos anteriormente.

Han transcurrido más de seis décadas desde que Lenin expuso por primera vez la idea de que "el electrón es inagotable". Durante este tiempo han aumentado inconmensurablemente y se han profundizado nuestros conocimientos sobre la estructura de la materia; para investigar este problema se utiliza todo el arsenal de la técnica moderna, y los laboratorios experimentales han empezado a parecerse a grandes empresas industriales.

A continuación procuraremos examinar cómo se refleja y cómo repercute en la física de nuestros días la idea de Lenin sobre la "inagotabilidad del electrón", y a qué nuevos problemas filosóficos conduce el desarrollo y el análisis detallado de dicha idea.

Estas cuestiones ya se han examinado parcialmente en un artículo de uno de los autores de este libro (2), motivo por el cual ahora nos limitaremos a tratar, en lo fundamental, las que han adquirido importancia los últimos años.

Concepto de partícula espacio-extensional

A despecho de la gran popularidad que a principios del siglo XX alcanzaron las afirmaciones de que "la física ha demostrado que la materia ha desaparecido", eran erróneas e infundadas ya desde un

---

(1) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 275. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 288).

(2) Ver *D. I. Blojíntsev*, "El libro de V. I. Lenin «Materialismo y empiriocriticismo» y las actuales representaciones sobre la estructura de las partículas elementales". "Éxitos de las ciencias físicas", 1959, t. LXIX, fasc. 1, pág. 3.

punto de vista puramente físico, independientemente de las ingenuas identificaciones de la masa con la materia.

La magnitud de la masa electromagnética del electrón, magnitud que se deducía de las fórmulas de la teoría electrónica, resultaba infinitamente grande; el valor de la masa observado en los experimentos o, en general, cualquier valor suyo finito sólo podía obtenerse a condición de que el electrón tuviese dimensiones espaciales distintas de cero. No obstante, cuanto se hacía con el fin de elaborar una teoría electrónica de los electrones extensionales, chocaba en seguida con las exigencias de la teoría de la relatividad: en dicha teoría, las velocidades de las señales resultaban invariablemente mayores que la velocidad c de la luz. Por tanto sólo cabía hablar del origen electromagnético de la masa de las partículas si se cerraban los ojos ante las flagrantes contradicciones físicas a que ello daba lugar.

Las dificultades persistieron en la teoría cuántica. Las numerosas tentativas que se emprendieron para establecer una teoría relativista invariante de las partículas extensionales o bien para localizar de manera consecuente las velocidades superlumínicas de las señales, tan solo en las esferas espacio-temporales pequeñas $\Delta x \leqslant l$, $\Delta t \leqslant l/c$ fracasaron. Donde estas dificultades se estudiaron de manera más completa fue en las denominadas teorías no locales. Hoy existe un gran número de teorías de ese tipo, las cuales tienen de común el que siempre, de una u otra manera (de ella depende la variante concreta de la teoría) se introduce la longitud elemental l, que determina la dimensión de la esfera espacio-temporal ($\Delta x \leqslant l$, $\Delta t \leqslant l/c$) en cuyo interior pueden propagarse las señales superlumínicas ("esfera de la no localización").

Introducir la longitud elemental resulta extraordinariamente crítico para la teoría contemporánea; las dificultades a que da origen aparecen literalmente en todos los aspectos de la teoría. Se trata de cuestiones concernientes a la invariancia relativista (condición de la compatibilidad matemática, ordenación temporal, velocidades superlumínicas), cuestiones que atañen a la descripción mecánico-cuántica (carácter unitario de la matriz de dispersión, carácter definido de la métrica), cuestiones de convergencia de elementos matriciales, cuestiones de invariancia gradiencial (cuando la cuestión afecta a partículas cargadas), etc.

Para las teorías no locales, representa una dificultad especial la formulación de las condiciones que han de garantizar la conservación de la causalidad macroscópica (es decir, de la causalidad en las esferas $\Delta x \gg l$, $\Delta t \gg l/c$) si se altera la microcausalidad a la vez que se observa la unitariedad de la matriz de dispersión. (Recordemos que la exigencia de unitariedad de la matriz de dispersión condiciona el que se conserve la regulación de la probabilidad completa de toda suerte de procesos) [3].

---

(3) Para más detalles sobre el particular, véase: *D. I. Blojintsev*, "Teorías del campo no locales y no lineales". Éxitos de las ciencias físicas", 1957, t. LXI, fasc. 2, pág. 142.

Varios autores han demostrado en sus trabajos que, hablando en general, cabe formular la teoría no local de manera que se eliminan o se suavizan gran parte de las dificultades a que acabamos de referirnos. Resulta que muchas de estas dificultades no lo son de principio y aparecen por generalizar de manera excesivamente rectilínea los elementos de la teoría local de las partículas puntiformes. Formulaciones de la teoría local equivalentes entre sí resulta que poseen valores totalmente distintos desde el punto de vista de su generalización no local. El origen de una serie de dificultades de las teorías no locales está precisamente en la elección desacertada de la formulación local de partida.

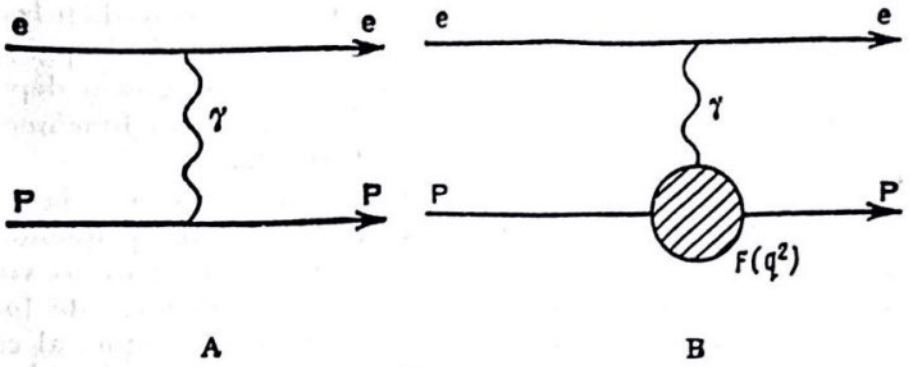
De todos modos, las teorías del campo no locales actualmente se encuentran al nivel de modelos matemáticos incapaces de interpretar o predecir fenómenos físicos reales. La situación general se complica, además, por la circunstancia de que en el experimento por ahora no se registra ninguna indicación de que existan efectos no locales de ninguna clase; éste es el motivo de que las teorías no locales se estructuren de suerte que en toda la esfera hoy en día accesible al experimento coincidan con una teoría local corriente. Sólo así se determina la magnitud constante de l. En esencia, las teorías no locales contemporáneas representan una investigación de algunas nuevas formas matemáticas con un viejo contenido físico.

Analizando las dificultades de la teoría contemporánea del campo se saca la impresión de que para eliminarlas se necesitan algunos cambios esenciales de la teoría que afecten a los conceptos básicos de la misma, como son los conceptos de campo, de partícula, de espacio y tiempo, etc.

Por otra parte, la actual teoría cuántica prevé —y se confirma bien experimentalmente— que las partículas elementales tienen a pesar de todo dimensiones espaciales, si bien en un sentido distinto del que se ha indicado más arriba. La partícula libre, fuera de toda interacción, no pasa de ser una abstracción matemática. Las partículas reales siempre se encuentran en recíproca interacción con campos al vacío, y, en consonancia con la relación de indeterminaciones, en torno a cada uno de ellos existe una "nube" dinámica de partículas virtualmente emitidas y absorbidas. Cuando las partículas elementales se influyen entre sí y cuando se influyen con un campo electromagnético, la presencia de tales nubes se manifiesta efectivamente como estructura relativistamente invariante de dichas partículas: "engrase" de su carga eléctrica, del momento magnético y de la masa, que se va haciendo más y más compleja a medida que pasamos a la esfera de las dimensiones ultrapequeñas.

Desde el punto de vista matemático, semejante estructura puede describirse mediante algunas funciones relativamente invariantes, de factores de forma, en los nudos de los diagramas de Feynman correspondientes a los puntos de interacción (fig. 1). En este caso, las expresiones que describen las interacciones adquieren el aspecto más general posible en la teoría relativistamente invariante. El aspecto de los factores de forma $F(q^2)$ está determinado por la comparación de

las expresiones teóricas para las secciones de la interacción con el experimento.



A B

Fig. 1

A: diagrama que describe la dispersión del electrón puntiforme mediante un protón puntiforme (γ: fotón virtual);

B: diagrama análogo para la dispersión del electrón puntiforme por el protón alrededor del cual existe la "nube" extensional de las partículas virtuales;

$F(q^2)$: factor de forma relativista que describe la estructura de la "nube";

q^2: cuadrado del vector tetradimensional del impulso transmitido, igual a la diferencia de los impulsos tetradimensionales del protón antes y después del choque.

Importa subrayar que si bien el cálculo de las interacciones virtuales con los campos de vacío conduce a los factores de forma, la teoría, por su estructura, sigue siendo esencialmente local y contiene como antes expresiones divergentes.

Si las interacciones de las partículas a distancias relativamente grandes, del orden de las dimensiones de la nube virtual $r \sim 10^{-13}$ *cm.*, cuando el efecto de rechazo es pequeño (la energía de rechazo $T^{\text{rech}} \ll$ masa de la partícula M) el proceso puede considerarse aproximadamente como no relativista. En este caso no es difícil demostrar [4] que la transformación de Fourier del factor de forma experimental

$$\rho(\bar{x}) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\bar{q}^2)\, e^{i\bar{q}\bar{x}}\, d^3x$$

constituye la correspondiente distribución espacial de la carga eléctrica, del momento magnético o de la masa del interior de la partícula. (Dado que $q_4 \sim T^{\text{rech}} \simeq 0$, entonces $q^2 \simeq \bar{q}^2$, y la integral es tridimensional; de ahí que la función ρ dependa sólo de las coordenadas espaciales). En cambio, si el rechazo no es pequeño, la función ρ

(4) Ver *D. I. Blojintsev, V. S. Barashenkov, B. M. Marbashov*, "Estructura de los nucleones". "Éxitos de las ciencias físicas", 1959, t. LXVIII, fasc. 3, pág. 417.

resulta, en primer lugar, que no sólo depende de las coordenadas espaciales, sino, además, del tiempo, y por otra parte no es posible expresar de alguna manera sencilla esta función mediante los cuadrados de las funciones de onda φ inic.$/^2$ y φ fin.$/^2$, que describen las distribuciones de las cargas y de la masa en el interior de la partícula antes y después de la interacción; la función ρ en este caso depende de manera integral compleja de la interferencia de las funciones de onda de los estados inicial y final de la partícula.

Las dificultades se acrecientan todavía más al pasar a la esfera de energías muy elevadas (es decir, de parámetros muy pequeños del golpe), cuando se hace necesario tener en cuenta los procesos virtuales correspondientes a un gran número de nuevos factores de forma, los denominados cuatricaudes, cincocaudes, etc. Por ejemplo, al calcular la siguiente aproximación bifotónica a la dispersión del electrón en el protón en los conocidos experimentos de Hofstadter aparecen cerca de dos decenas de nuevos factores de forma ("cuatricaudes") correspondientes a las amolitudes del efecto Compton virtual (fig. 2).

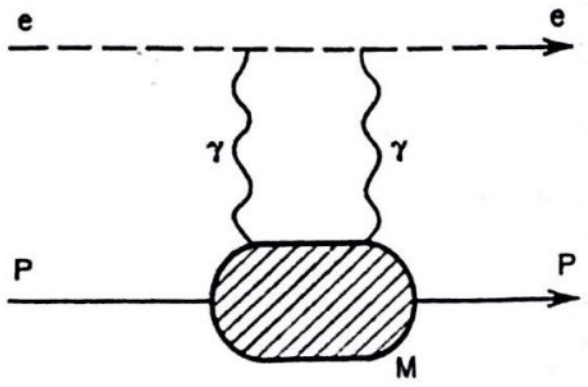


Fig. 2

Diagrama que describe la siguiente aproximación bifotónica en la dispersión del electrón puntiforme en el protón extensional. Por consideraciones de invariancia, la amplitud M puede escribirse como suma de dos decenas de miembros cada uno de los cuales contiene cierta función desconocida. Lo mismo que los factores de forma de la figura 1, estas funciones conocidas tienen que determinarse por comparación con la experiencia. Con burda aproximación, la amplitud M puede calcularse recurriendo a modelos.

Vemos que en la actual teoría relativista cuántica, la imagen espacial de la partícula extensional es aproximada y presenta un carácter más bien dinámico que geométrico. Ello no obstante, es difícil liberarse de la impresión de que los conceptos físicos fundamentales —conceptos de espacio-tiempo, de campo y de partícula, de que nos valemos ahora para analizar la estructura de las partículas elementales— pueden resultar inconsistentes en el "interior" de las partículas que posean estructura.

Ya hemos indicado más arriba que actualmente no existen fun-

damentos experimentales para renunciar a las habituales representaciones espacio-temporales en la esfera de las dimensiones $\Delta x \lesssim 10^{-13}$ *cm*. $\Delta t \lesssim 10^{-23}$ *seg.* [5]; sin embargo, dado el nivel a que ha llegado hoy la ciencia, el planteamiento mismo del problema en torno a la posibilidad de las denominadas formas extraespaciales y extratemporales de existencia de la materia no parece de ningún modo absurdo. Si concebimos el espacio y el tiempo como formas de existencia de la materia que aparecen a modo de determinada expresión correspondientemente de la estabilidad y de la variabilidad de su ser, tenemos que, siendo todo el mundo materia en movimiento, el espacio y el tiempo son formas universales del ser de la materia.

A la vez, con frecuencia (y en física prácticamente siempre) se entiende por espacio y por tiempo formas que expresan relaciones estructurales de la coexistencia de los fenómenos y cambios de estado. Este punto de vista presupone que en el nivel material dado tiene sentido diferenciar dos puntos (objetos) contiguos x_1 y x_2 y dos momentos (estados) subsiguientes t_1 y t_2. Sin embargo, las propiedades de "contigüidad" y "secuencia" son propiedades concretas y muy específicas de la estructura que no siempre, ni mucho menos, pueden existir. Desde esta perspectiva, cabe plantear el problema de las formas "extraespaciales" y "extratemporales" de la existencia de la materia: las formas micro y macroscópicas de su ser pueden diferenciarse de manera esencial. Dicho con otras palabras, se trata aquí de un nuevo paso que puede darse en el conocimiento del espacio y del tiempo como formas objetivamente reales de todo ser.

El estudio de las posibles generalizaciones de la imagen de espacio-tiempo que nos es habitual constituye un importante objetivo de la investigación filosófica y física. Resulta aquí muy oportuno recordar una vez más la declaración programática de Lenin en el sentido de que "la revisión de la «forma» del materialismo de Engels, la revisión de sus tesis de filosofía natural no sólo no tienen nada de «revisionismo» en el sentido consagrado de la palabra, sino que, por el contrario, necesariamente la exige el marxismo" [6].

Constituye una determinada exploración en ese terreno el estudio del espacio-tiempo cuantificado. Estos esquemas teóricos operan en el espacio curvo de los impulsos. El correspondiente espacio-tiempo coordenado existe sólo asintóticamente para grandes distancias y grandes intervalos de tiempo. Sin embargo, al igual que en el caso de las teorías no locales, la realización de la idea del espacio-tiempo cuantificado choca por ahora con serias dificultades.

---

(5) Ver *D. I. Blojintsev*, "Sobre la interacción del microsistema con el instrumento de medición". "Éxitos de las ciencias físicas", 1968, t. XCV, fasc. 1.

(6) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, págs. 265-266. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 278).

Cuadro actual de la estructura de las partículas elementales

Ante las dificultades, señaladas más arriba, que presenta el consecuente planteamiento del problema concerniente a la estructura de los microobjetos en la física de las partículas elementales, han alcanzado amplia difusión diversos modelos. Desde luego, todo empleo de modelos es limitado por su esencia misma y aplicable para describir únicamente facetas por completo determinadas de los objetos que se investigan. Sin embargo, hoy por hoy es el único camino de que disponemos para comprender y asimilar el torrente, en rápido aumento, de la información experimental.

Aquí no vamos a detenernos a describir en detalle los diversos modelos concretos sobre la estructura de las partículas elementales; indicaremos tan solo que la actual imagen de la estructura interna del nucleón —ahora, la más estudiada de las partículas elementales— dista mucho de las representaciones ingenuas compartidas por la mayoría de los físicos hará cosa de un decenio, según las cuales las estructuras del protón y del neutrón son muy parecidas y se diferencian fundamentalmente tan solo por el signo de las cargas eléctricas de las nubes mesónicas virtuales. Los experimentos sobre la dispersión de los electrones rápidos en el hidrógeno y en el deuterio, así como el análisis de la dispersión de los haces de neutrones lentos en las capas electrónicas de los átomos han demostrado convincentemente que las estructuras del protón y del neutrón no se parecen en absoluto una a otra ni siquiera en la periferia y están determinadas por complejas interacciones de resonancia de las partículas virtuales. Sólo se comprendió la importancia de semejantes interacciones en los últimos años, después del descubrimiento de las partículas-resonones de vida superbreve. Hasta ese momento, los hechos experimentales sobre la estructura de los nucleones parecían un dominio lleno de enigmas y contradicciones.

El análisis de numerosos datos experimentales acerca de interacciones electromagnéticas y varios hechos acerca de interacciones fuertes de las partículas con los nucleones hacen pensar que en el interior de estos últimos, en alguna parte a distancias del orden de la longitud de onda de Compton del nucleón $r \sim 2 \cdot 10^{-14}$ *cm.*, la densidad de la carga eléctrica, del momento magnético y de la masa crece sensiblemente formando una especie de corazón en el centro del nucleón. Como es obvio, dadas las dificultades a que nos hemos referido más arriba en lo que atañe a la descripción de la estructura espacial de las partículas, esta conclusión ha de considerarse sólo como toscamente cualitativa; sin embargo, la circunstancia de que se deduzca de un gran número de experimentos convence de que es real.

Como vemos, a medida que se pasa a capas cada vez más profundas de la materia, se nivela la diferencia de dimensiones de los detalles característicos de la estructura; en los átomos, las dimensiones de la capa electrónica y del núcleo se diferencian en muchos órdenes, en el nucleón la capa periférica y el corazón se diferencian

sólo en unas cuantas veces por lo que atañe a sus dimensiones. En la comprensión de la estructura de las partículas elementales se ha registrado en los últimos años un progreso de suma consideración a raíz de haberse elaborado una simetría unitaria. En esta línea se ha logrado conexionar, en particular, las propiedades de la estructura de partículas al parecer tan distintas como el nucleón y los hiperones, los mesones π, η y K, etc.

Han sido algo inesperados los resultados experimentales obtenidos hace poco tiempo acerca de la estructura del mesón π. Las dimensiones periféricas medias y la distribución de la carga en la periferia de esta partícula han resultado muy semejantes a lo que conocemos acerca del protón. Cierto, esta conclusión ha de ser aún puntualizada, pues los datos experimentales sobre los mesones π todavía no son muy exactos.

Desde el punto de vista de la teoría cuántica del campo, es de esperar que todas las partículas elementales, incluidos el electrón, el cuanto γ y el neutrino, tengan una estructura interna condicionada por interacciones virtuales con el vacío, mas, a diferencia del nucleón y del mesón π, la estructura de las partículas que no experimentan fuertes interacciones se halla concentrada fundamentalmente en alguna parte de las zonas

$$\Delta x \leqslant 10^{-16}\ cm.$$

Para explicar esto, examinemos el proceso virtual de la disociación del electrón en mesón μ y el par neutrino + antineutrino:

$$e \rightleftarrows \mu + \nu + \bar{\nu}.$$

La interacción que determina este proceso es débil y se caracteriza por la constante G de la interacción de Fermi. Con esa constante cabe enlazar la longitud

$$l = \sqrt{G\hbar c} \simeq 10^{-16}\ cm.$$

Puede demostrarse que si las longitudes de las ondas de de Broglie que figuran en el fenómeno se aproximan a 10^{-16} *cm.*, esa interacción "débil" se hace más fuerte que las interacciones electromagnéticas. De ser ello así, carece evidentemente de sentido examinar el electrón a distancias $\Delta x \leqslant 10^{-16}$ *cm.* sin tener en cuenta fenómenos nuevos por principio con participación de los mesones y del neutrino. La nube de estas partículas será más densa que la nube de las partículas virtuales que se forman alrededor del electrón como consecuencia de las interacciones electromagnéticas.

Para investigar experimentalmente las zonas espacio-temporales ultrapequeñas $\Delta t \leqslant 10^{-26}$ *cm.* y $\Delta x \leqslant 10^{-16}$ *seg.* se requieren partículas de energías $\gtrsim 10^5$ GeV, lo cual, por lo visto, durante mucho tiempo superará todavía en gran medida las posibilidades de la técnica aceleradora y sólo se alcanzará en los experimentos con rayos cósmicos, donde la exactitud de las mediciones es muy baja, pues son

en extremo raras las partículas cósmicas de gran energía (recordemos que ahora en los aceleradores se investigan dimensiones de $\Delta x \geqslant 5 \cdot 10^{-15}$ *cm.*; el acelerador de protones de 70 GeV puesto en marcha hace poco tiempo en Sérpujov permite reducir aproximadamente todavía en vez y media el límite inferior de estas dimensiones).

Por extraño que parezca, la investigación de la estructura interna del electrón, al parecer la partícula elemental más "simple" y la que nos resulta más familiar, será por lo visto una labor de un futuro bastante lejano. Mas en esto puede verse también una circunstancia feliz. Con elevada exactitud el electrón puede considerarse como puntiforme, lo cual significa que puede ser un buen medio para la "búsqueda" de la estructura de otras partículas más pesadas. (En rigor, alrededor del electrón existe siempre una nube de pares electrón-positrónicos cuya medida característica es de $r \sim 10^{-11}$ *cm.*; sin embargo, dada la pequeñez constante de la interacción electromagnética $\alpha = 1/137$, la emanación de tales vapores se da relativamente con poca frecuencia y su nube resulta tan "transparente" en comparación, por ejemplo, con la densidad de las nubes mesónicas alrededor del nucleón, que puede simplemente desdeñarse).

En la actualidad, los experimentos con los electrones constituyen la fuente principal de nuestros datos acerca de la estructura de los nucleones y de los mesones.

La estructura de las partículas elementales y el concepto de elementalidad

El descubrimiento experimental de la estructura de los nucleones planteó de manera completamente nueva el problema de la elementalidad de las partículas. Antes entendíanse por "elementales" los microobjetos más simples conocidos, que en todos los procesos accesibles a las mediciones se comportaban en las interacciones como un todo único [7]. Tal definición evidentemente no es en absoluto adecuada para el nucleón, que describe factores de forma. Por otra parte es imposible separar del nucleón —por lo menos en la etapa actual— elementos más simples. En todas las interacciones que hoy conocemos, reales y virtuales, los grupos de partículas ahora denominadas elementales se convierten en sí mismos, y no es posible delimitar en ellos objetos de "diverso grado de elementalidad". Los elementos de la estructura han resultado ser, en este caso, tan complejos como el mismo todo; en este sentido cabe decir que los nucleones "contienen en su interior otros nucleones".

Adviértase que esta última conclusión, a pesar de cuanto tiene de insólita, no es más que una realización concreta de un aserto muy conocido gracias a la matemática, a saber: que un conjunto infinito contiene partes de potencia igual a la suya. Aplicada al nucleón, dicha conclusión significa tan solo: *admitimos* que es posible disociar vir-

(7) Ver *L. D. Landau* y *E. M. Lifshits*, "Teoría del campo", Moscú, 1948, pág. 34.

tualmente cualquier nucleón virtual en un número asimismo *exactamente* infinito de partículas virtuales como el nucleón de partida.

Se comprende que semejante conjetura sólo es cierta para partículas de fuerte interacción y no puede admitirse en absoluto, por ejemplo, en electrodinámica, donde los miembros de las descomposiciones correspondientes a la sucesión de las disociaciones virtuales de las partículas decrecen rápidamente en proporción a los grados de la estructura fina constante $\alpha = 1/137$. Desde luego, también en lo que respecta a las partículas de fuerte interacción, la hipótesis de una larga serie de disociaciones sucesivas que no se amortiguan (por no hablar ya de la idealización relacionada con un número infinito de miembros de la serie) no representa más que una conjetura; sin embargo, sus posibles alteraciones se hallan mucho más allá de los límites de las actuales exactitudes de medición.

Ha de subrayarse asimismo que en todos los casos en que se habla de que cierta partícula *se compone* de otras partículas —por ejemplo, el meson π se compone de un nucleón y de un antinucleón— siempre ha de entenderse tan solo en el sentido de las disociaciones virtuales; el defecto de masas resulta siempre, en tales casos, tan grande, que no cabe ni siquiera hablar de ninguna disociación real de la partícula. En este sentido, el mesón π se diferencia de modo radical, por ejemplo, del deuterón cuyo defecto de masa constituye en total únicamente cerca de una milésima de su masa, motivo por el cual se le puede considerar realmente compuesto de un protón y de un neutrón.

Es más, ni siquiera en los casos en que la partícula se desintegra (por ejemplo $\pi \rightarrow \mu + e$) puede hablarse de que las partículas finales son partes de la inicial. Esto sólo sería cierto si la energía de conexión (defecto de masas) fuera sensiblemente inferior a las masas que participan en la reacción de las partículas y si las partículas componentes no perdieran su individualidad dentro del todo que forman (como sucede en el deuterón).

Actualmente se incluye en el grupo de partículas elementales a todas aquellas cuyas posibles desintegraciones, *cualesquiera que sean*, tanto las reales como las virtuales, se producen con un defecto de masas comparable en magnitud a la masa de la partícula inicial o a las masas de las partículas de desintegración. Esta definición, que en esencia no es más que un criterio práctico, basta por completo para la delimitación unívoca de un grupo de objetos elementales, mas tal grupo resulta muy grande y contiene numerosas decenas de partículas diversas.

La existencia de un número tan grande de objetos que han de verse como "ladrillos" elementales (y su número sigue creciendo rápidamente) provoca en el investigador una sensación de inseguridad. El descubrimiento de una simetría unitaria ha permitido unir grupos bastante grandes de partículas en familias cuyos miembros son estados diferentes de una partícula, con lo que ha sido posible reducir en gran medida el número de partículas elementales esencialmente distintas; a pesar de todo, su número sigue siendo aún muy grande.

Desde este punto de vista resulta extraordinariamente cautivadora la hipótesis de los quarks, que permite representarse *todas* las partículas de fuerte interacción como formadas sólo por dos tipos de partículas: de quarks y de antiquarks, cada uno de los cuales tiene tres estados diferentes. Por ejemplo, el mesón π resulta que se compone de un quark y de un antiquark; el mesón K, también se compone de un quark y de un antiquark, pero ya en otros estados; el nucleón, se compone de tres quarks, etc.

Los quarks son objetos simplísimos de simetrías de grupos SU_3 y SU_6 de modo análogo a como el nucleón es el multiplete más simple del grupo isotópico. Así como es posible construir todos los núcleos atómicos con nucleones, también con quarks es posible construir todas las partículas de fuerte interacción, con la sola diferencia (aunque muy esencial) de que el defecto de masas en este caso superará decenas de veces a las masas de las partículas componentes. Desde el punto de vista de la magnitud de su defecto de masas (por así decirlo, de la densidad de su empaquetamiento) y de la situación en los grupos unitarios, los quarks pueden considerarse como los objetos físicos más elementales de todos los que ahora conocemos, como el siguiente nivel más profundo del mundo material. Por desgracia, las numerosas tentativas de descubrir los quarks experimentalmente han resultado vanas: los quarks por ahora siguen siendo, como antes, unos objetos hipotéticos introducidos en la teoría a base de consideraciones sobre grupos y simulaciones.

Llama la atención el hecho de que los modelos simples y al parecer, a primera vista, sumamente ingenuos, en los cuales para describir las interacciones de los quarks en el interior de las partículas se utilizan ecuaciones no relativistas, conducen a menudo a una concordancia sorprendentemente buena con la experiencia, y con admirable sencillez y naturalidad explican muchas peculiaridades de las partículas elementales y sus interacciones. Al mismo tiempo, las tentativas hechas para precisar los modelos por regla general perturban inmediatamente la concordancia del experimento con la teoría. Se crea la impresión de que la hipótesis de los quarks en su forma actual refleja de manera muy primitiva y tosca leyes en alto grado fundamentales, y todavía completamente confusas, concernientes a la esfera de las magnitudes ultrapequeñas, y se encuentra todavía muy lejos de la situación real de las cosas. Al parecer, no vemos más que los perfiles nebulosos de algo totalmente distinto de todo aquello con que hasta ahora nos hemos encontrado, y por esta razón cualquier tentativa de describir "algo" en el lenguaje de representaciones que nos son conocidas al instante lleva a contradicciones.

También sorprende que los quarks, al parecer, carecen de relación con las partículas que no experimentan fuertes interacciones: no se logra presentar ni el mesón μ, ni el electrón, ni el neutrino como "compuestos" de quarks. Sobre el fondo de la hipótesis de los quarks, los leptones y el fotón aparecen como objetos que ya nos resultan familiares.

Existe aún otra circunstancia relacionada con el concepto de

partícula elemental que sume en profundas reflexiones. Puede demostrarse [8] que la propagación directa de las representaciones de la teoría contemporánea del campo al dominio de las energías ultraelevadas (y, con ello, al dominio de las magnitudes espacio-temporales ultrapequeñas) lleva a la conclusión de que el concepto mismo de partícula se hace inconsistente en ese dominio: la energía relacionada con la interacción resulta en este caso mucho mayor que la energía correspondiente a la masa de reposo de las partículas, y todo el procedimiento de la cuantificación secundaria, al que se debe la aparición de las partículas en la teoría moderna del campo, se vuelve contradictoria. Por otra parte, no podemos renunciar al concepto de partícula sin destruir la base entera del instrumental matemático de la teoría contemporánea.

Vemos, pues, que el paso a la investigación de las capas profundas de la estructura de la materia ha colocado a la física contemporánea ante toda una serie de dificultades y contradicciones esenciales. La partícula elemental aparece en realidad extraordinariamente compleja. Penetrar cada vez más en su interior exige colosales esfuerzos, en todo caso no menores que los de los astrónomos aplicados al estudio de las lejanas profundidades del Universo. Asimismo es complicada y necesaria la técnica. Si los astrónomos necesitan telescopios muy complicados, los físicos han de disponer de aceleradores complicadísimos. Cierto, teóricos hay que se figuran poder prescindir de los aceleradores. Sin embargo, la experiencia toda del conocimiento demuestra que es imposible abarcar todo el micromundo en una teoría apoyándose en los resultados experimentales obtenidos sólo en una limitada esfera del mismo. Se requieren nuevos experimentos que descubran la especificidad de zonas más profundas. Sólo podemos hablar de unas zonas limitadas del Universo realmente investigadas y para las cuales cabe formular realmente leyes. Por este motivo nos parece muy importante comprender las ideas de Lenin sobre la inagotabilidad de las partículas elementales, pues semejante comprensión ayuda a elegir el acertado método de trabajo.

Macrofenómenos en el micromundo

Partiendo de los trabajos de Lenin sobre dialéctica materialista puede pensarse que nos encontraremos con grandes sorpresas en las pequeñas magnitudes, es decir, ahí donde la teoría moderna conduce a resultados absurdos.

Hoy en día existen razones para suponer que la masa de los quarks, si realmente existe, constituye no menos de diez masas nucleónicas. El estudio de las interacciones de resonancia de las partículas elementales lleva al descubrimiento de partículas de resonancia cada vez más pesadas, con masas que superan sensiblemente la masa del nucleón. ¿Hasta dónde puede llegar este proceso de incremento

(8) Ver *D. I. Blojintsev*, "Teorías no locales y no lineales del campo", "Éxitos de las ciencias física", 1957, t. LXI, fasc. 2, pág. 142.

de las masas de los microobjetos? Dicho con otras palabras: ¿es en realidad tan vasto el abismo que separa el micro y el macromundo?

Tal abismo podría existir si al pasar a la zona de energías muy elevadas, las secciones de las interacciones de las partículas elementales se volvieran tan pequeñas que desapareciesen. En este caso, las grandes energías resultarían secundarias para los fenómenos microscópicos, o dicho con otras palabras, al darse grandes energías las partículas se volverían transparentes. Cabría decir que los nucleones dejan de influirse recíprocamente, y hasta que si la micropartícula bombardeante llega a tener una energía muy grande, esto será, como si dijéramos, "cuestión personal suya", pues no está en interacción con otras partículas. Y entonces el micromundo quedaría separado del macromundo por un límite muy serio.

Ahora bien, el experimento indica que las secciones de las interacciones fuertes, cuando las energías son muy elevadas, más bien permanecen constantes, y en todo caso no disminuyen en ningún grado más o menos sensible. Así, las secciones de las interacciones nucleón-nucleónicas se mantienen aproximadamente constantes hasta energías del orden de 10^{18} *eV* [9]. Tales energías superan en miles de millones de veces a la propia energía del nucleón. Si tales nucleones chocan, surge de nuevo un número enorme de partículas secundarias. De ahí que en principio en los choques de partículas con suficiente energía, podrían engendrarse, hablando metafóricamente, estrellas, pero no como se entiende en los laboratorios de física, sino como lo entienden los astrónomos.

Ello no obstante, para las partículas cósmicas reales (por lo menos en la parte del universo accesible ahora a nuestra observación) dicha posibilidad queda excluida, pues su energía se cercena automáticamente a un nivel aproximado de 10^{20} — 10^{22} *eV* a consecuencia de pérdidas de energía en las interacciones con los fotones de la radiación calórica relicta del universo.

Al parecer, también existen ciertas limitaciones para la magnitud de la energía de las partículas virtuales; de otro modo, sería difícil comprender cómo aparecen en la naturaleza finitas las magnitudes que, en teoría, se expresan mediante integrales energéticas divergentes. Desde este punto de vista, resultan muy poco probables los "fenómenos macroscópicos" más o menos perceptibles en el micromundo.

Recientemente, M. Márkov, fundándose en ideas de la teoría general de la relatividad, llamó la atención sobre el hecho de que existe otro límite en el cual el micro y el macromundo pueden ligarse estrechamente entre sí [10].

Sabemos por la teoría de la relatividad que en un mundo cerrado de radio R, la distancia se determina mediante la fórmula $r = R \operatorname{sin} \chi$, donde el parámetro χ adquiere un valor entre cero y π. Correspon-

---

(9) Ver *V. S. Barashenkov*. "Las secciones de interacción de las partículas elementales", Moscú, 1966.

(10) "Proc. of the 13th Intern. Confer. on High Energy Phys", Rochester, 1966.

dientemente, la superficie de la esfera tridimensional en dicho mundo será

$$S = 4\pi R^2 \sin^2\chi.$$

Es evidente que S toma un valor máximo si $\chi=\pi/2$ y se prolonga hasta el punto cuando χ se incrementa hasta el valor de π. Resulta además que la propia energía gravitacional compensa con exactitud la masa no gravitacional de los cuerpos insertos en la esfera S, de suerte que la energía total se hace igual a cero, como así debe ser en un universo cerrado.

Por consiguiente, si examinamos el universo fridmaniano, que casi no está del todo cerrado en el sentido de que $\chi = \pi - \delta$, donde δ es muy pequeño, tenemos que la masa de "todo un universo" puede llegar a ser igual, por ejemplo, a la masa del neutrón, y para un observador situado en el exterior, la conducta de "tal universo" respecto a las fuerzas que en él actúen no se distinguirá de la conducta de una partícula con una masa igual a la masa del neutrón.

Aunque, como es obvio, no se han de entender en un sentido excesivamente literal los resultados de semejantes razonamientos —pues no se deja aparte el carácter cuántico de los fenómenos en el micromundo y se formula la hipótesis, en extremo osada, de que las leyes de la teoría de la relatividad hoy conocidas seguirán siendo aplicables hasta distancias muy pequeñas— resulta claro, de lo expuesto, que el abismo entre el micro y el macromundo tal vez no sea tan profundo ni tan vasto como puede parecer a primera vista. Como quiera que sea, el estudio de los fenómenos que se producen en el micromundo nos conduce a examinar procesos de carácter cósmico, y viceversa, el análisis de los problemas cosmológicos inesperadamente se nos presenta vinculado a los problemas cardinales de la física de las partículas elementales.

El electrón resulta en verdad inagotable.

Conclusión

Vemos cuán importantes son las palabras de Lenin acerca de la inagotabilidad del electrón. La idea por él formulada constituye ahora en esencia una tesis programática de toda la física de las partículas elementales.

Al mismo tiempo se ha de tener siempre en cuenta que Lenin, filósofo dialéctico preeminente, subrayaba que el problema del saber es ante todo un problema de práctica; el criterio de la práctica es en este ámbito el más importante. Utilizando la terminología de Engels cabe decir que el proceso del conocimiento estriba en la conversión de la "cosa en sí" en "cosa para nosotros". En este camino pueden encontrarse fenómenos pasmosos, que aparezcan como contradictorios respecto a cuanto hasta entonces se haya conocido. Y es precisamente en tales zonas donde adquiere singular trascendencia la acertada intelección filosófica de los resultados de la práctica. En contraposición a otros sistemas filosóficos, el materialismo dialéctico

no se enfrenta a la ciencia contemporánea como un conjunto de tesis anquilosadas, dadas de una vez para siempre; su contenido se enriquece y su forma cambia con cada nuevo gran descubrimiento científico.

Podemos afirmar que también el átomo y el núcleo atómico se han convertido ya en sensible medida en "cosa para nosotros". Y ahora estamos presenciando cómo las profundidades de las partículas elementales se van convirtiendo de "cosa en sí" en "cosa para nosotros". Es a todas luces evidente que Lenin en líneas generales previó precisamente este curso en la evolución del saber.

V. A. FOK
Académico

LA FÍSICA CUÁNTICA Y LOS PROBLEMAS FILOSÓFICOS

Son bien conocidas las palabras de Engels, citadas por Lenin, de que con cada magno descubrimiento, hasta en el campo de la historia natural, el materialismo tiene que cambiar inevitablemente de forma. La física cuántica representa sin duda alguna uno de los descubrimientos que hacen época y plantea a los científicos de modo apremiante nuevos problemas gnoseológicos. Es más, sin responder con acierto a las cuestiones epistemológicas que en este terreno surgen, tampoco es posible comprender acertadamente la mecánica cuántica como teoría física.

Los problemas a que nos referimos atañen al tema filosófico cardinal de la relación que existe entre los objetos del mundo exterior y el sujeto cognoscente. Al analizar tales problemas no sólo hemos de guiarnos por la tesis general de la filosofía materialista según la cual la conciencia no existe fuera e independientemente de la materia, sino, además, por la que concierne al carácter convencional y relativo de todos los límites en la naturaleza. Lenin dijo sin rodeos que "también la diferencia entre la materia y el espíritu es *relativa, no excesiva*"(1).

Valor gnoseológico de la diferencia en los procedimientos de descripción de los objetos físicos

Los conceptos de la teoría del conocimiento suelen dividirse en dos categorías: por una parte, están el sujeto y su conciencia, el pensamiento, las sensaciones y las percepciones; por otra parte, los objetos del mundo exterior que el sujeto estudia. La física clásica no veía diferencias de principio en los procedimientos usados para describir los diferentes objetos del mundo exterior; conforme a tal criterio, en

(1) *V. I. Lenin*, "Obra", t. XVIII, pág. 257. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 269).

la relación gnoseológica todos los objetos materiales quedaban insertos en una categoría. En la física cuántica (nos referimos a la física del micromundo) se ha puesto en claro el gran papel de principio que desempeñan los instrumentos de medición como mediadores entre los objetos del mundo exterior y la conciencia del hombre. Al mismo tiempo se ha visto que la estructura y el funcionamiento de los aparatos de medición han de describirse de manera esencialmente distinta que las propiedades y la conducta de los microobjetos que con tales aparatos se estudian. Dicha diferencia es tan grande que, desde el punto de vista de la teoría del conocimiento, los microobjetos y los aparatos de medición se han de incluir en categorías distintas.

Por otra parte, los aparatos de medición tienen un gran parecido con los órganos de los sentidos del hombre. Así, para muchos fines, el ojo sirve de aparato de medición suficientemente exacto, y el empleo de gafas, del microscopio o del telescopio en el aspecto de los principios no cambia nada, tan solo aumenta en muchas veces las posibilidades de observación y su exactitud. La apreciación a ojo no se diferencia en nada (aparte la exactitud), desde un punto de vista de principio, de las mediciones hechas con un aparato. Los discípulos del académico S. Vavílov lograron comprobar a ojo hasta las fluctuaciones cuánticas de la luz. La cuestión es análoga, por ejemplo, en la determinación del peso de un cuerpo mediante el esfuerzo muscular o recurriendo a unas balanzas. Estas consideraciones nos conducen a la conclusión siguiente. Si al estudiar el acto cognoscitivo es necesario (como se reconoce en la física cuántica) separar en una categoría especial los medios de observación, en dicha categoría entran tanto los aparatos de medición propiamente dichos como los órganos de los sentidos del hombre. Según esto, las indicaciones de los aparatos y las sensaciones del hombre también se insertan en una categoría.

Llegamos así a la conclusión de que, conservando la línea divisoria fundamental que establece la filosofía materialista entre razón y conciencia (dicho de otro modo: espíritu) por una parte, y materia (en el sentido más amplio) por otra parte, tenemos que diferenciar en la relación gnoseológica categorías individuales de los objetos materiales.

Todas estas diferencias se hallan conectadas con la diferencia en las maneras de describir los correspondientes conceptos. Así, la razón y la conciencia del hombre se describen de manera subjetiva. Está fuera de toda duda que el pensamiento es un producto del cerebro; pero se diferencia del cerebro de manera tan radical como una idea expuesta en un papel se diferencia del papel y de la tinta con que se ha escrito. La circunstancia de que el hombre piensa gracias al cerebro, que puede ser (y es) objeto de estudio en biología y en fisiología, no es óbice para que la razón y la conciencia del hombre existan como categoría subjetiva especial que se describe "desde dentro". La filosofía materialista lo ha reconocido siempre y lo sigue manteniendo después de haberse establecido diferencias entre tipos

o categorías de objetos materiales. Lo que aporta de nuevo, al respecto establecer diferencias de ese género, estriba únicamente en separar del concepto "lo subjetivo" de las percepciones de los órganos sensoriales del hombre y en aproximar las percepciones y sensaciones a las indicaciones de los aparatos.

En cambio, las transformaciones que introduce la física cuántica en las maneras de describir algunas categorías de los objetos del mundo exterior (esos que se acostumbra a denominar microobjetos) son muy importantes. En la física precuántica constituía un rasgo común a los procedimientos descriptivos aplicables a los objetos más diversos del mundo exterior el suponer tácitamente que los medios de observación no eran esenciales. Se estimaba que para cualquier objeto siempre existe un medio "circunspecto" de observación que no influye para nada en su conducta; con esta suposición, podía hablarse de la conducta del objeto por sí mismo y no plantear en absoluto el problema de los medios de observación como condiciones del conocimiento. En consonancia con ello, en la física precuántica ambas categorías —los medios de observación y los objetos de observación— se unían en una que es la que corresponde aproximadamente a la noción de mundo exterior. Cualquier objeto del mundo exterior se describía recurriendo a abstracciones tomadas de la física clásica (y aplicables en realidad tan solo a los objetos macroscópicos). Más adelante las examinaremos con mayor detalle.

La elucidación de los principios básicos de la física cuántica ha mostrado que los procedimientos descriptivos de los medios de observación, por una parte, y de los microobjetos por otra son esencialmente distintos. Los medios de observación pueden (y deben) describirse partiendo de las abstracciones clásicas teniendo sólo en cuenta las limitaciones cuantitativas que se desprenden de la mecánica cuántica. En cambio, los microobjetos (moléculas, átomos, electrones, fotones, partículas elementales de todo género y cuasipartículas) exigen para su descripción nuevos principios y conceptos, tan esencialmente distintos de los viejos que no pueden expresarse, en general, en el lenguaje de la física clásica. Para expresarlos ha sido necesario crear un lenguaje especial (tanto matemático como verbal): el lenguaje de la física cuántica.

A medida que se va penetrando en nuevas zonas de los procesos cuánticos y se elaboran las correspondientes teorías físicas, ese lenguaje se perfecciona sin cesar. Proporciona muchas cosas nuevas, sobre todo, la física de las altas energías, que estudia las interacciones y las transformaciones de las partículas elementales. Pero en este terreno los conceptos físicos no han recibido todavía una formulación matemática suficientemente bien estructurada y presentan más dificultades al análisis filosófico. Tal es el motivo de que los tratemos sólo brevemente al final del artículo, cuyo contenido básico estará dedicado al análisis de nociones, surgidas en la física de las energías pequeñas, con su fundamento teórico: la mecánica cuántica no relativista. Ya esta zona limitada es tan novedosa, comparada con la física clásica, en el planteamiento mismo del problema de describir los fe-

nómenos físicos, que es imposible eludir la resolución de determinadas cuestiones gnoseológicas.

Rasgos fundamentales del procedimiento clásico de describir los fenómenos

Ya hemos tenido ocasión de hablar, en otra parte, de las idealizaciones y abstracciones relacionadas con el procedimiento clásico de describir los procesos físicos[2]. Repetiremos aquí lo más esencial.

La característica fundamental del procedimiento clásico de describir los fenómenos estriba en admitir la plena independencia de los procesos físicos respecto a las condiciones de observación. Se suponía que siempre es posible "acechar" el fenómeno sin inmiscuirse en él y sin influir sobre él (ya hemos hablado más arriba del procedimiento "circunspecto" de observar el objeto). Verdad es que si "acechamos" el proceso físico desde distintos puntos de vista (y si, correspondientemente, lo describimos en distintos sistemas de cómputo), su aspecto será diferente. Así, en un sistema de cómputo, la caída libre de un cuerpo puede parecer rectilínea, y en otro sistema puede parecer que describe una parábola. Ahora bien, la dependencia en que se halla del sistema de cómputo la forma del fenómeno de movimiento, se ha tenido en cuenta siempre; el cálculo de esta dependencia se establece mediante una simple reducción de las coordenadas de un sistema de cómputo a las coordenadas del otro. El cambio de forma del fenómeno que admite semejante cálculo evidentemente no introduce en el curso del fenómeno mismo nada nuevo; de ahí que pudiera hablarse, como antes, de independencia del fenómeno mismo respecto al procedimiento de observación.

La mecánica cuántica ha demostrado, sin embargo, que eso no será así en el caso de los microprocesos; en este caso, la posibilidad misma de la observación presupone la existencia de determinadas condiciones físicas que pueden resultar vinculadas a la esencia del fenómeno. Fijar estas condiciones no significa simplemente indicar el sistema de cómputo aplicable, sino que requiere una caracterización más detallada de las mismas.

Desdeñar esta circunstancia constituye una abstracción que puede denominarse *absolutización* del proceso físico. Si se admite, resulta posible considerar los procesos físicos como procesos que transcurren por sí mismos, independientemente de que exista o no en principio la posibilidad de observarlos (es decir, si se dan las condiciones físicas necesarias para comprobarlos).

Es plenamente tolerable que se aplique dicha abstracción cuando se estudian fenómenos de dimensiones grandes (macroscópicas), respecto a los cuales el influjo de la medición resulta prácticamente desdeñable. La absolutización de semejantes fenómenos y procesos

(2) Ver, por ejemplo, *V. A. Fok*, "La física cuántica y la estructura de la materia". "Estructura y formas de la materia", Moscú, 1967; ver asimismo nuestro artículo "La physique quantique et les idéalisations classiques". "Dialectica", 1965, vol. 19, N 314, p. 223.

parecía tan natural que nunca se hacía clara referencia a ella antes de que naciese la mecánica cuántica. Se daba por sobreentendido que todo proceso físico transcurre "por sí mismo". Esto simplificaba en extremo la descripción de los procesos físicos, pues no había necesidad alguna de caracterizar de manera especial las condiciones de la observación.

Toda la física clásica se fundaba en la absolutización del concepto de proceso físico. Esta abstracción constituye uno de sus rasgos característicos.

Representa otra abstracción la posibilidad, admitida en la física clásica, de precisar ilimitadamente la observación. Aquí entendemos por precisión no sólo la medición más exacta de una magnitud dada, sino también la medición simultánea de cualquier otra magnitud relacionada con el objeto o el fenómeno observados; la precisión de ese tipo podría denominarse *detalle* de la medición. Incluso en los casos en que la medición de diversas magnitudes exige condiciones desiguales de observación, la física clásica estima posible combinar en un cuadro único que describa el proceso físico estudiado, los datos obtenidos en condiciones desiguales. Semejante conjetura de que es posible abarcar simultáneamente distintas facetas de la conducta del objeto, diversas partes del proceso físico dado, se halla lógicamente vinculada a la de admitir la independencia del proceso físico respecto a las condiciones de la observación, es decir, su absolutización.

Las representaciones de la física clásica conducen a la concepción del estado del movimiento del sistema físico (con determinados grados de libertad) no sólo como algo absoluto, sino, además, como algo completo: alcanzado el detalle total de las observaciones (cosa que se reconoce posible), las observaciones posteriores, cualesquiera que sean, nada pueden añadir.

En la física clásica, el proceso físico se veía como transcurriendo durante el cambio de estados del sistema. Como quiera que al concepto de estado del sistema con los grados indicados de libertad se le asignaba un valor absoluto (en el sentido de independencia de las condiciones de observación) y además completo (en el sentido de plenitud de la observación), era natural pensar que el cambio de estados en el tiempo se produce en virtud de una ley unívocamente determinada. Esto conduce a la noción de determinismo mecánico laplaciano. No sólo concordaba con esta noción la mecánica clásica, sino, además, la electrodinámica, dado que dichas teorías permiten determinar el estado del sistema correspondiente (mecánico o electrodinámico) en cualquier momento del tiempo, si se conoce su estado inicial. Tampoco contradecía esa noción la teoría de la relatividad (nos referimos a la teoría de Einstein, de 1905), pese a que ésta introdujo muchas nociones nuevas. Hizo tambalear un poco las posiciones del determinismo unívoco, la termodinámica clásica, que no puede fundamentarse teóricamente, a base de la física estadística, sin introducir el concepto de probabilidad. Pero donde se vio con mayor evidencia que no pueden aplicarse las representaciones del determi-

nismo unívoco ni tampoco las que corresponden al carácter absoluto de los procesos físicos y a la posibilidad de detallarlos ilimitadamente, fue en la mecánica cuántica, cuyas ideas básicas vamos ahora a examinar.

Limitación del procedimiento clásico de describir los fenómenos y esfera de su aplicabilidad

Hechos tan fundamentales como la naturaleza doble, corpuscular-ondulatoria, de la luz y de las partículas de la materia nos dicen convincentemente que el procedimiento clásico de describir los fenómenos no puede aplicarse a los microobjetos. Por otra parte, no podemos simplemente desecharlo, dado que para la descripción objetiva de los fenómenos necesitamos apoyarnos, directa o indirectamente, en algo que no exija salvedades sobre el procedimiento de observación, y así sucede, precisamente, con el procedimiento "absoluto" aceptado en la física clásica.

Para aplicar razonablemente el procedimiento absoluto clásico de descripción, es necesario ante todo fijar sus límites. Repetiremos aquí los razonamientos, bien conocidos, que conducen a las desigualdades de Heisenberg y que caracterizan tales límites.

Veamos los fenómenos más simples, el movimiento del punto material de masa m. Según la mecánica clásica, el estado del movimiento de un punto material se halla determinado en cada momento del tiempo por los valores de sus coordenadas x,y,z, y por r_x,r_y,r_z que componen las cantidades del movimiento (del impulso). Ahora bien, sería erróneo examinar los valores conjuntos de unas y otras magnitudes sin tener en cuenta las posibilidades reales de su medición, medición que queda limitada por los efectos cuánticos. Estos efectos cuánticos aparecen, por ejemplo, en la interacción de una partícula con los fotones de luz que irradia aquélla. Lo esencial en este caso estriba en que el fotón, que se caracteriza por parámetros de onda, al mismo tiempo es portador de una determinada energía y de cantidad de movimiento, o sea, es portador de propiedades de la "partícula de luz". Son ondulatorios: la frecuencia ν, (o la frecuencia angular $\omega = 2\pi\nu$), la longitud de onda $\lambda = \frac{c}{\nu}$ y el vector de onda k, que da la dirección de la propagación, con la particularidad de que su magnitud absoluta es igual a $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi\nu}{c} = \frac{\omega}{c}$, donde ω es la frecuencia angular. Si designamos como h' la constante de Planck h dividida por 2π (de suerte que $h = 2\pi h'$), la energía del fotón E y su cantidad de movimiento p estarán conectadas con los parámetros ondulatorios mediante la relación

$$E = h'\omega;\ r = h'k, \qquad (1)$$

donde la constante h' es igual a

$$h' = 1{,}05 \cdot 10^{-27}\ erg.\ seg. \qquad (2)$$

La relación (1) conecta las propiedades de onda y corpusculares del fotón: sus partes de la derecha contienen las magnitudes ω y k, que se determinan por los fenómenos de interferencia, y las partes de la izquierda —E y r— caracterizan el fotón como partícula.

La relación (1) refleja, de esta suerte, el dualismo corpuscular-ondulatorio del fotón como partícula de luz. Y resulta que este dualismo corpuscular-ondulatorio no sólo es una propiedad común a los fotones, sino, además, a todas las partículas en general. Como puso de manifiesto Heisenberg, la localización de la partícula en una pequeña zona cualquiera del espacio requiere condiciones físicas desfavorables para la medición de su cantidad de movimiento (es decir, para la localización de la partícula en el espacio de los impulsos), y viceversa. Este resultado es perfectamente comprensible, pues la pequeña longitud de la onda de luz, favorable para localizar la partícula en el espacio de las coordenadas, significa que se utilizan fotones portadores de gran energía y capaces de comunicar a la partícula un gran impulso, con lo cual alteran sensiblemente la localización en el espacio de los impulsos; en cambio, la aplicación de fotones de pequeñas energías significa que se utiliza luz de una gran longitud de onda, lo cual lleva a ampliar todas las bandas de difracción y a disminuir la exactitud de la localización de la partícula en el espacio habitual (coordenado).

Cuantitativamente, el resultado de Heisenberg puede expresarse bajo el aspecto de las desigualdades

$$\Delta x \Delta p_x \geqslant h'; \quad \Delta y \Delta p_y \geqslant h'; \quad \Delta z \Delta p_z \geqslant h',$$

donde las magnitudes Δx, Δy, Δz caracterizan las dimensiones de la esfera de localización en el espacio de las coordenadas x,y,z, y las magnitudes Δp_x, Δp_y, Δp_z caracterizan las dimensiones de la esfera de localización en el espacio de los impulsos r_x, r_y, r_z. Estas desigualdades llevan el nombre de desigualdades de Heisenberg y demuestran que la partícula por su naturaleza no admite la localización simultánea en el espacio de las coordenadas y en el de los impulsos.

A las desigualdades de Heisenberg (3) cabe agregar la relación

$$\Delta t \Delta (E' - E) \geqslant h'. \qquad (4)$$

que relaciona la indeterminación en el cambio de la energía de la partícula con la indeterminación en el momento del tiempo cuando este cambio ha tenido lugar. Según la relación (4), el acto de transferencia de la energía no se puede localizar con exactitud en el tiempo. La relación (4) puede denominarse relación de Heisenberg-Bohr. Las relaciones de Heisenberg y de Bohr (3) y (4) caracterizan la esfera de aplicabilidad del procedimiento clásico ("absoluto") de describir los fenómenos. Dada la pequeñez de la constante de Planck,

este procedimiento es indudablemente aplicable a los cuerpos macroscópicos. Mas su valor no se limita a esto. El procedimiento indicado desempeña asimismo un importante papel en la descripción de los procesos cuánticos, pues se aplica a los aparatos cuyas indicaciones permiten estudiar los objetos atómicos. Las condiciones de la experiencia (lo mismo que sobre los objetos atómicos) siempre se describen por el procedimiento clásico, "absoluto".

Volviendo a lo dicho en el segundo apartado, ahora podemos precisar el concepto de medios de observación como intermediarios entre la conciencia del hombre y los objetos atómicos que se estudian después de indicar el procedimiento de la descripción de los mismos. *Los procedimientos de observación tienen que describirse mediante las abstracciones clásicas, pero teniendo en cuenta las relaciones de Heisenberg y de Bohr.*

La relatividad de los medios de observación como base del procedimiento cuántico de describir los fenómenos

El nuevo procedimiento de descripción de los fenómenos ha de tener en cuenta las posibilidades reales de las mediciones relacionadas con los microobjetos. No debemos atribuir a los objetos propiedades (ni estados de movimiento) cuya comprobación resulte por principio imposible. De ahí que convenga examinar muy atentamente las condiciones necesarias de tal comprobación. Debemos tener en cuenta la estructura y el funcionamiento de los aparatos que crean las condiciones físicas en que el objeto se encuentra. Como ya hemos dicho más arriba, los aparatos y las condiciones externas tienen que describirse clásicamente dando valores a los parámetros que los caracterizan. Huelga decir que esos parámetros pueden asignarse sólo con la exactitud tolerada por las desigualdades de Heisenberg; de otro modo, salimos de los límites de las posibilidades reales de la estructura de los aparatos.

El microobjeto se manifiesta en la interacción con el aparato. Por ejemplo, la trayectoria de la partícula sólo se hace visible como resultado de un irreversible proceso de avalancha en la cámara de Wilson o en la emulsión de una placa fotográfica (con lo cual, la partícula pierde energía para ionizar el aire o la película fotográfica, de suerte que su cantidad de movimiento se hace indeterminada). El resultado de la interacción del objeto atómico con el aparato clásicamente descriptible es lo que forma el elemento experimental básico cuya sistematización, partiendo de tales o cuales supuestos acerca de las propiedades del objeto, constituye el objetivo de la teoría: del examen de estas interacciones se infieren las propiedades del objeto atómico, y las predicciones de la teoría se formulan como resultados que se esperan de las interacciones. Semejante planteamiento del problema tolera plenamente la introducción de magnitudes que caracterizan el propio objeto con independencia del aparato (carga, masa, espín de la partícula, así como otras propiedades del objeto

que se describen mediante operadores cuánticos), pero al mismo tiempo admite un enfoque variado en el examen del objeto: el objeto puede caracterizarse desde aquella de sus facetas (por ejemplo, corpuscular u ondulatoria) cuya manifestación esté condicionada por la estructura del aparato y por las condiciones externas que él cree.

El nuevo planteamiento del problema permite examinar el caso en que facetas y propiedades diversas del objeto no se manifiestan simultáneamente, es decir, el caso en que es imposible detallar la conducta del objeto. Ello será así cuando para que se manifiesten propiedades diversas del objeto (por ejemplo, la capacidad del electrón para las localizaciones en el espacio y su capacidad para las interferencias) se requieran condiciones externas incompatibles.

A propuesta de Bohr, pueden denominarse *complementarias* las propiedades que aparecen en su aspecto puro sólo cuando se dan condiciones que se excluyen mutuamente, y cuando las condiciones son realizables, se manifiestan sólo en un aspecto incompleto, "suavizado" (por ejemplo, la localización incompleta, admitida por las desigualdades de Heisenberg, en el espacio coordenado y de los impulsos). Examinar la manifestación simultánea de propiedades complementarias (en su aspecto puro) no tiene sentido; esto es lo que explica la falta de contradicción en el concepto de "dualismo corpuscular-ondulatorio".

Situando en la base del nuevo procedimiento de descripción los resultados de la interacción del microobjeto con el aparato, introducimos, con ello mismo, el importante concepto de *relatividad de los medios de observación*, concepto que generaliza otro, conocido hace mucho tiempo: el de relatividad del sistema de cómputo. Este procedimiento descriptivo no presupone de ningún modo que atribuyamos al objeto menor grado de realidad que al aparato, o que reducimos las propiedades del objeto a las del aparato. Al contrario, la descripción basada en el concepto de relatividad de los medios de observación proporciona una caracterización objetiva mucho más profunda y exacta del microobjeto de lo que era posible basándose en las idealizaciones de la física clásica. Semejante caracterización requiere también un instrumental matemático más desarrollado: la teoría de los operadores lineales, de sus valores y funciones propios, la teoría de los grupos y otros conceptos matemáticos. La aplicación de este instrumental a los problemas de la física cuántica ha permitido dar una explicación teórica a varias propiedades fundamentales de la materia que resultaban inexplicables en función de las representaciones clásicas. Pero, además —y esto no es menos importante para nosotros— la interpretación física de las nociones matemáticas que se utilizan en ese instrumental conduce a una serie de profundas conclusiones de principio, y en particular a la generalización del concepto de estado del sistema a base de los conceptos de probabilidad y de posibilidad potencial.

Los conceptos de probabilidad y de posibilidad potencial en la física cuántica

Tomando como fuente de nuestros juicios acerca de las propiedades del objeto el acto de interacción entre éste y el aparato y puesta en la base de la descripción de los fenómenos la relatividad de los medios de observación, introducimos en la descripción del objeto atómico, de su estado y de su conducta, un elemento esencialmente nuevo: el concepto de probabilidad, y con ello, el concepto de posibilidad potencial. La necesidad de examinar el concepto de probabilidad precisamente como elemento esencial de la descripción y no como señal de insuficiencia de nuestros conocimientos, ya se desprende del hecho de que, en unas condiciones exteriores dadas, el resultado de la interacción entre el objeto y el aparato no está, hablando en general, unívocamente predeterminado, sino que posee tan solo cierta probabilidad. La serie de semejantes interacciones conduce a la estadística, que corresponde a una determinada distribución de probabilidades. Dicha distribución de probabilidades refleja las posibilidades potenciales que existen objetivamente en las condiciones dadas.

Examinemos una experiencia sobre un sistema físico dado que permita hacer pronósticos acerca de los resultados de las futuras interacciones con aparatos de distinto género. Una experiencia inicial de ese tipo ha de comprender una determinada preparación del sistema (por ejemplo, la preparación de un haz de electrones de determinada energía) y la creación de determinadas condiciones externas en que se hallará el sistema después de la preparación (por ejemplo, la transmisión del haz de electrones a través de un cristal). A veces conviene considerar la preparación y la creación de las condiciones exteriores como dos fases distintas de la experiencia, pero también cabe verlas como una experiencia inicial única cuyo fin estriba en obtener prognosis. La experiencia inicial siempre atañe al *futuro*.

El modo de preparación y las condiciones exteriores se describen, en la experiencia inicial clásicamente, pero no su resultado, que ha de proporcionar una característica completa de las posibilidades potenciales que existen en las condiciones dadas y ya exige para su formulación recursos nuevos, mecánico-cuánticos. Para formarnos idea de qué objetivos se han de cumplir con tales recursos examinaremos cómo se realizan, en unas condiciones dadas, las posibilidades potenciales existentes.

Ante todo es necesario tener en cuenta que la experiencia final en que se realizan puede organizarse de diferentes maneras: las estructuras del aparato registrador en esta experiencia pueden ser diversas (además, por regla general, se excluirán mutuamente). Lo mismo que en la experiencia inicial, la estructura y el funcionamiento del aparato se describen clásicamente. Las variantes de la experiencia final y las correspondientes estructuras del aparato pueden caracterizarse por el tipo de magnitudes (coordenadas, cantidad de movimiento, etc.) que se han de medir.

De esta suerte, en la experiencia inicial dada, existe ante todo la posibilidad de elegir, para la experiencia final, un determinado tipo de aparato. En cualquier caso, la experiencia final atañe al *pasado* (y no al futuro, como la experiencia inicial) y puede denominarse experiencia *comprobatoria*, ya que permite comprobar las prognosis proporcionadas por la experiencia inicial.

Supongamos que está elegido el tipo de experiencia comprobatoria. ¿Cómo se formula su resultado? Es necesario recordar constantemente que estamos hablando de *posibilidades potenciales* creadas en la experiencia inicial y realizadas en la experiencia comprobatoria. Con la elección dada del tipo de experiencia comprobatoria, esas posibilidades potenciales se formulan como distribución de probabilidades para la magnitud dada (más exactamente: para los valores de la magnitud dada que pueden obtenerse en la experiencia comprobatoria). De este modo corresponde a la comprobación experimental la distribución de las probabilidades. Como es obvio, tal comprobación no puede realizarse mediante una sola medición, sino que requiere una repetición múltiple de toda la experiencia (con un mismo método de preparación del objeto y con unas mismas condiciones exteriores). La estadística obtenida como resultado de una repetición efectuada muchas veces es lo que permite juzgar acerca de la distribución de probabilidades sujeta a investigación.

La experiencia completa (es decir, el experimento llevado hasta su término de suerte que hace posible establecer comparaciones con la teoría) se compone del conjunto de las pruebas inicial y comprobatoria, repetidas, además, muchas veces. Conviene recordar aquí, una vez más, que dada una experiencia inicial (dadas unas condiciones iniciales), la experiencia final puede plantearse de manera distinta (en ella pueden medirse diversas magnitudes) y para cada tipo de experiencia final existe su distribución de probabilidades.

La teoría ha de caracterizar, por tanto, el estado inicial del sistema de modo que quepa obtener de ese estado distribuciones de probabilidades para cualquier tipo de experiencia final. Con ello se obtendrá una caracterización completa de las posibilidades potenciales que se desprenden de la experiencia inicial. Como quiera que la experiencia final puede corresponder no al mismo momento del tiempo que la inicial, sino a otro posterior, la teoría tiene que proporcionar asimismo la dependencia en que estas probabilidades y posibilidades potenciales se hallan respecto al tiempo. Establecer esta dependencia equivaldrá a lo que representa en la física clásica establecer las leyes del movimiento.

El instrumental matemático de la mecánica cuántica y los grados de libertad de los sistemas físicos

La descripción de los fenómenos físicos teniendo en cuenta la relatividad de los medios de observación y fundándose en el concepto de posibilidad potencial, se lleva a cabo recurriendo a un instrumental matemático bien elaborado.

El problema que ante todo surge sobre los posibles valores de las magnitudes sujetas a medición se resuelve aplicando la teoría de los operadores lineales: cada magnitud se confronta con un operador lineal autoconjugado cuyos valores propios dan los valores posibles de dicha magnitud. Esta confrontación abarca tanto el caso de los valores propios discretos (espectro puntiforme) como el de la serie ininterrumpida de valores (espectro continuo). Es curioso que el término "espectro" se utilizaba tanto en la teoría de los operadores lineales como en la física (espectros ópticos) ya antes de que se viera la conexión de los dos significados del vocablo.

El concepto de función propia del operador lleva al concepto más general de *función de onda dependiente del tiempo*, que describe las posibilidades potenciales propias del sistema físico dado en las condiciones dadas. La función de onda satisface la ecuación diferencial cuyo aspecto se halla directamente conectado con el aspecto del operador de energía total del sistema; la existencia de esta conexión se explica por el hecho de que también en la mecánica cuántica se da la ley de la conservación de la energía. La ecuación diferencial de la función de onda es de primer orden en el tiempo; de ahí que la función de onda se determine unívocamente por su valor inicial. Por medio de esta función de onda (y por medio de las funciones propias de los operadores correspondientes a las magnitudes que se miden) se expresan todas las probabilidades relacionadas con el sistema dado. Es posible demostrar que de estas distribuciones de probabilidades, dado su carácter, se obtienen automáticamente las relaciones de Heisenberg.

La estructura del operador de energía constituye una parte esencial de la teoría del sistema físico dado. Ante todo es necesario tener en cuenta, al respecto, los grados de libertad propios del sistema dado. Lo más natural sería tomar los grados de libertad que corresponden a las representaciones clásicas del sistema. Por ejemplo, cabría asignar al electrón los mismos grados de libertad que tiene en la mecánica clásica el punto material y, en consecuencia, considerar que la función de onda del electrón depende de tres coordenadas en el momento dado del tiempo. Sin embargo, la analogía con la teoría clásica puede resultar insuficiente. El término mismo de "grados de libertad" ha de entenderse en un sentido más general que en la teoría clásica, no reduciéndolo a las variables relativas al movimiento en el espacio, sino admitiendo que se introduzcan en la función de onda otras variables de toda clase (cuánticas) correspondientes a la naturaleza del objeto. Así, para el electrón, es indispensable introducir hasta en una aproximación no relativista el momento propio de cantidad de movimiento determinable por operadores especiales, el denominado espín [3]; este grado de libertad es sobre todo esencial

(3) Los términos "espín" (que en inglés significa "rotación") y "momento propio de cantidad de movimiento" hacen pensar en las analogías clásicas, pero no se han de entender literalmente, en el sentido de cierto giro del electrón.

para formular las propiedades del *sistema* de electrones, por ejemplo de la capa electrónica del átomo. En la aproximación relativista hay que seguir el camino de introducir nuevos grados de libertad mucho más lejos y considerar el electrón como una parte incomparablemente más compleja de un sistema que incluye además los positrones. Ello trae a la memoria, hasta sin que uno quiera, la predicción de Lenin, que hablaba de la inagotabilidad del electrón ya antes de que existiera la mecánica cuántica [4].

Las posibilidades de introducir nuevos grados de libertad de los sistemas físicos —posibilidades que abre la física cuántica con sus nuevos principios de descripción de los fenómenos— son en alto grado esenciales incluso para comprender las leyes físicas más simples y fundamentales. Así, las propiedades de los átomos que Mendeléiev expresó en la forma del sistema periódico de los elementos, sólo han encontrado su explicación teórica después de que se hubo descubierto el espín del electrón y después de haberse formulado el principio de Pauli (principio de antisimetría de la función de onda respecto a las permutaciones de coordenadas y de variables de espín de cualquier par de electrones). En las propiedades del sistema de electrones se funda asimismo la aclaración de muchas propiedades macroscópicas de los cuerpos sólidos (cristales, semiconductores), propiedades que, por otra parte, no pueden explicarse partiendo de la física clásica.

Las leyes de la física cuántica no sólo son aplicables a las partículas en el sentido propio (que tienen una masa en reposo distinta de cero), sino, además, a las partículas con una masa en reposo de cero, por ejemplo a los fotones. En comparación con los electrones, los fotones tienen dos peculiaridades: en primer lugar, fácilmente pueden absorberse y emitirse, de suerte que una reunión de fotones representa un sistema de un número indeterminado de partículas; en segundo lugar, el sistema de un número indicado de fotones se describe (a diferencia de un sistema de electrones) mediante una función simétrica de onda. La teoría cuántica del campo electromagnético, que incluye la teoría de los fotones, se denomina electrodinámica cuántica.

Tomando como modelo la teoría de los fotones, que enlaza los conceptos de campo y de partícula (o de cuasipartícula) se han elaborado teorías de otras cuasipartículas, por ejemplo de las vibraciones acústicas elementales, de los fonones. Estas teorías, junto con la teoría del sistema de electrones, han encontrado aplicación en la física de los cuerpos sólidos y líquidos. Las propiedades de los semiconductores, así como los fenómenos de superfluidez y superconductibilidad de algunos líquidos, fenómenos observables en bajas temperaturas, no pueden comprenderse de ningún modo si no es basándose en las leyes cuánticas.

Ya en la teoría del electrón, resultó decisivo el introducir nuevos grados de libertad (ante todo del espín). Durante los últimos años, en relación con el avance de la física de las grandes energías y con

---

(4) Ver *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 277. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 290).

las investigaciones de las interacciones y transformaciones de las partículas elementales, ha adquirido singular importancia el descubrimiento de nuevos grados de libertad. Tales grados de libertad se formulan como propiedades de simetría y propiedades de transformación de las funciones de onda y de las funciones de campo. La determinación de sus nexos con las transformaciones del espacio y del tiempo, y también con el paso de las partículas a antipartículas abre nuevas perspectivas en la teoría cuántica del campo. Este sector de la física cuántica está lejos de su coronación, mas ya es posible juzgar hasta qué punto son en él esenciales los nuevos principios, que la mecánica cuántica ha introducido por primera vez, de descripción de los fenómenos.

Conclusión

Apoyándonos en la física cuántica, hemos procurado mostrar en el presente artículo la necesidad de los métodos de descripción basados en los conceptos de relatividad de los medios de observación y de posibilidad potencial. La aplicación de métodos nuevos (cuánticos) no excluye, sino que tan solo completa y limita la aplicación de métodos viejos (clásicos) basados en los conceptos de absolutización y de detalle. A los viejos métodos se les asigna su esfera de aplicación.

Como ya hemos dicho, la física cuántica posee un instrumental matemático bien elaborado. Dicho instrumental admite la interpretación no contradictoria únicamente si se toman como base los conceptos de relatividad de los medios de observación y de posibilidad potencial; por esto nos parece indudablemente justificado establecer diferencias gnoseológicas entre los objetos que se describen con los métodos de la física cuántica y los objetos habituales (macroscópicos).

Cabe preguntarse: ¿no pueden encontrarse en la naturaleza otros objetos que exijan métodos de descripción específicos? Objetos así podrían ser, por ejemplo, los organismos vivos. El problema de la relación entre el organismo vivo y el medio recuerda un poco el problema de la relación entre el objeto y el aparato: el organismo se caracteriza por sus propiedades, que no se reducen en absoluto a las del medio, pero es imposible imaginarse como existiendo por sí mismo e independientemente del medio[6]. Cuando el problema de la vida por fin se haya resuelto y se encuentren procedimientos adecuados para describir los organismos vivos, se delimitará indudablemente un grupo de conceptos nuevo también en el aspecto gnoseológico. Ahora bien, esta serie de conceptos no invalidará, sino que tan solo completará los conceptos de la física cuántica y de la física clásica, y limitará la esfera en que éstos son suficientes: la naturaleza inerte. Aquí ha de recordarse una vez más la tesis filosófica sobre el convencionalismo y la relatividad de todos los límites en la naturaleza.

---

(6) Ver *A. Fok*, "La cooperación personal entre físicos y filósofos contribuye al desarrollo de la ciencia". "Problemas metodológicos de la ciencia", Moscú, 1964, pág. 234.

También surgen cuestiones que atañen a la teoría del conocimiento cuando se estudian fenómenos de carácter totalmente distinto y de otras dimensiones, a saber, los que pertenecen al dominio de la cosmología. En este dominio lo que sirve de guía es la teoría de la gravitación de Einstein. De ahí que se plantee el problema de los límites en que esta teoría puede aplicarse. ¿Es admisible que se aplique donde conduce a propiedades del espacio y del tiempo cualitativamente distintas de las que inicialmente figuraron en su base (por ejemplo, donde da un valor de cero para la velocidad de la luz)? ¿Es admisible hacer extensivos los conceptos habituales de espacio y de tiempo a esferas espacio-temporales ilimitadamente grandes atribuyéndoles propiedades que se desprenden formalmente de la teoría, sin analizar las posibilidades de observación?

A nosotros nos parece erróneo extrapolar conceptos físicos que se justifican en un dominio en que se aplican determinados medios de observación a un dominio en que tales medios ya resultan insuficientes. Aduciremos un ejemplo del micromundo. En su esfera, un concepto espacio-temporal tan simple como el de órbita del electrón ha resultado inaplicable. Es muy posible que existan también ciertas limitaciones para las esferas cosmológicamente enormes del espacio y del tiempo.

En general, cualquier teoría física —aunque se trate incluso de la teoría de la gravitación de Einstein— tiene sus límites de aplicabilidad y no es posible extrapolarla ilimitadamente. Tarde o temprano resulta indispensable introducir conceptos físicos esencialmente nuevos, concordantes con las propiedades de los objetos que se estudian y con los medios que se aplican para su conocimiento, y entonces se descubren asimismo los límites de aplicabilidad de la teoría, con la particularidad de que surgen nuevas cuestiones gnoseológicas. Para la resolución de tales cuestiones han de seguir siendo, en adelante, ideas rectoras, las ideas del materialismo dialéctico formuladas por Lenin de manera tan clara y general.

A. D. ALEXÁNDROV
Académico

EL ESPACIO Y EL TIEMPO EN LA FÍSICA CONTEMPORÁNEA A LA LUZ DE LAS IDEAS FILOSÓFICAS DE LENIN

En el libro *Materialismo y empiriocriticismo*, Lenin, después de explicar en líneas generales las causas de la crisis filosófica que se dio entonces en la física, indicó también cómo podía superarse. Veía la superación de la crisis en el paso del viejo materialismo, metafísico, al materialismo dialéctico. "La... física —escribió Lenin— ha derivado hacia el idealismo, sobre todo, precisamente porque los físicos ignoraban la dialéctica"(1). La física "está para dar a luz el materialismo dialéctico"(2), pero avanza sin ver con claridad su "objetivo final", a tientas y a veces hasta de espaldas(3). Al defender el materialismo, Lenin explicaba y desarrollaba el carácter crítico y progresivo del materialismo dialéctico, sus tesis cardinales acerca de la verdad absoluta y relativa, acerca del criterio de la práctica en el conocimiento, acerca de la naturaleza limitada de toda representación sobre la estructura de la materia, de toda imagen del mundo formada en cualquier etapa del devenir de la ciencia. El materialismo dialéctico no reconoce que nada sea absoluto excepto que existe el mundo exterior y que la conciencia humana lo refleja. "...El materialismo dialéctico insiste sobre el carácter aproximado, relativo, de toda tesis científica acerca de la estructura de la materia y de sus propiedades..."(4).

Ahora, cuando en la física ha entrado la teoría general de la relatividad con su profunda modificación de las representaciones sobre el espacio y el tiempo, y ha entrado la mecánica cuántica con su revisión de los conceptos fundamentales incluso del concepto de objeto

---

(1) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, págs. 276-277. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 289).
(2) *Ibíd.*, pág. 332. (*Ibíd.*, pág. 350).
(3) Ver ibíd.
(4) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 276. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 289).

BIBLIOTECA VALENCIA FILOSOFIA Y LETRAS

determinado individual (pues la identidad de los electrones cambia esta noción esencial), cuando pensar en la posibilidad de los descubrimientos más "increíbles" y de las teorías "insensatas" se ha convertido en algo habitual para los físicos, lo mismo que la comprensión del movimiento de la física a través de una serie de verdades relativas, a través de una serie de teorías que se profundizan, ahora, repetimos, queda justificado lo que escribió Lenin, y la mayoría de los físicos lo han asimilado por las experiencias de su ciencia. La física "ha dado a luz el materialismo dialéctico", y si quedan todavía científicos que no lo han comprendido, acaso se deba tan solo a la estrechez de sus concepciones filosóficas o a la animadversión hacia el materialismo dialéctico como filosofía del movimiento comunista.

Examinaremos aquí en líneas generales las representaciones sobre el espacio y el tiempo contenidas en la teoría de la relatividad para mostrar, en su ejemplo, cómo la física ha dado a luz el materialismo dialéctico y cómo precisamente a la luz de sus ideas —que defendió y desarrolló Lenin— resultan comprensibles el auténtico valor y el contenido de la teoría citada. A propósito: han señalado la influencia de Lenin en esta problemática, autores que han hecho más profunda la comprensión de la teoría de la relatividad, la han defendido contra las interpretaciones equivocadas y contra los ataques que partían tanto de quienes eran incapaces —no de palabra, sino de hecho— de examinar dicha teoría desde las posiciones del materialismo dialéctico, no metafísico, como de quienes no podían superar en la interpretación de la teoría las influencias del positivismo[5].

El espacio en la matemática

La geometría surgió de la práctica, y sólo como resultado de un desenvolvimiento bastante prolongado se redujo al sistema deductivo expuesto en los "Elementos" de Euclides. De ciencia práctica se convirtió en teoría matemática. La física la tomó ya en un aspecto preparado. El espacio se concebía como un recipiente vacío de cuerpos y de fenómenos, como si poseyera por sí mismo las propiedades fijadas en la geometría euclidiana. Sin embargo, por su carácter inicial, la geometría era, en realidad, como el primer capítulo de la física. Tan solo la total abstracción de las formas y relaciones espaciales respecto a su contenido material la convirtió en una parte de la matemática pura. Vale la pena recordar, además, que en Euclides la geometría se expone sin coordenadas. Las coordenadas o, hablando en el lenguaje de la teoría de la relatividad, los sistemas espaciales de cómputo sólo aparecieron en la geometría con Descartes, poco más o menos diecinueve siglos después de Euclides.

---

(5) Ver, por ejemplo, el trabajo de *V. A. Fok*, "La teoría del espacio, del tiempo y de la gravitación" (Moscú, 1961, pág. 18) donde Fok indica que su visión general sobre la teoría de Einstein se formó "bajo el influjo de la teoría del materialismo dialéctico, y en particular bajo el influjo del libro de Lenin «Materialismo y empiriocriticismo»".

El tiempo —cuya medida exacta se elaboró partiendo de la observación de los astros— entró en las leyes generales de la mecánica que formularon Galileo y Newton. A propósito: el concepto de simultaneidad absoluta responde por completo a la mecánica de Newton. Según esta mecánica, no existe ninguna limitación de principio para la velocidad que puede comunicarse a un cuerpo, basta sólo actuar sobre un cuerpo pequeño con una fuerza suficientemente grande. De ahí que la "señal" como la de un disparo pueda darse de un lugar a otro a cualquier velocidad. Correspondientemente, la inexactitud en la comparación del tiempo en esos dos lugares distintos puede ser tan pequeña como se quiera. Pero una magnitud menor que cualquier magnitud indicada es igual a cero. Y ello significa, precisamente, que la indeterminación en la comparación del tiempo en distintos lugares es igual a cero, es decir, la simultaneidad de los acontecimientos separados en el espacio es absoluta.

El espacio absoluto euclidiano y el tiempo absoluto que fluye idénticamente en todas partes arraigaron en los conceptos. Junto con la representación perceptible del espacio y del tiempo, ello condujo, incluso, a que Kant declarara el espacio y el tiempo meras formas a priori de la contemplación, carentes de toda relación con el mundo exterior de las "cosas en sí". La abstracción de espacio, nacida de la práctica y formalizada en matemáticas, se transfirió de la realidad material a la conciencia.

Sin embargo, ya poco después de Kant, Lobachevski expuso la idea de que la geometría se refiere a la realidad material, y más aún, que de ningún modo cabe afirmar de antemano que las propiedades del espacio real no pueden ser distintas de las que se describen en la geometría euclidiana(6). Más tarde, Riemann formuló la misma idea y planteó con toda claridad el problema del origen y fundamentación de las propiedades métricas del espacio. En su célebre trabajo *Sobre las hipótesis que figuran en la base de la geometría*, escribió: "...o lo real que crea la idea de espacio forma una diversidad discreta o bien es necesario hacer lo posible por explicar el nacimiento de las relaciones métricas por algo externo, por fuerzas de conexión que actúen sobre eso real. Sólo puede esperarse que estos problemas se resuelvan en el caso de que, partiendo de la concepción hoy existente —de la que Newton sentó las bases— y comprobada por la experiencia, nos pongamos a perfeccionarla gradualmente guiándonos por hechos que esa concepción no puede explicar; investigaciones como la llevada a cabo en el presente trabajo... sirven únicamente para que la limitación de los conceptos y los prejuicios arraigados no obstaculicen el avance ni los éxitos en el conocimiento del nexo de las cosas"(7). Diríase que Riemann planea lo que Einstein hizo. Éste, per-

---

(6) Ver, por ejemplo, *N. I. Lobachevski*, "Nuevos elementos de la geometría con la teoría completa de las paralelas". "Obras completas", t. II, Moscú-Leningrado, 1949, pág. 200.

(7) *B. Riemann*, "Sobre las hipótesis que se hallan en la base de la geometría". "Sobre los fundamentos de la geometría", Recopilación, Moscú, 1956, pág. 324.

feccionando la teoría de Newton, utilizó precisamente la geometría de Riemann, y la teoría de la relatividad einsteiniana condujo a la aclaración del problema planteado por Riemann sobre los fundamentos de las relaciones métricas en el espacio.

Después de Riemann, pronto infirió Helmholtz[8] las propiedades métricas del espacio partiendo de las propiedades del movimiento de los cuerpos sólidos, con lo cual dio clara forma a los fundamentos físicos de la geometría, de los que, en realidad, de hecho había surgido ésta en gran medida. Lo que se entiende por propiedades del movimiento de los cuerpos sólidos son propiedades del grupo de estos movimientos. La homogeneidad del espacio designa en este plano la posibilidad de que el cuerpo sólido se mueva libremente. Sin embargo, en la teoría de Riemann esto era sólo un caso particular, que se realiza en los espacios riemannianos de curvatura constante.

El desarrollo de diversos sistemas de geometría junto al euclidiano —geometría afín, proyectiva, y otros— permitió descubrir su fundamento común, consistente en que cada uno de ellos está determinado por el correspondiente grupo de transformaciones. Desde este punto de vista una geometría se define como teoría de las propiedades de las figuras que son invariantes respecto a las transformaciones del grupo dado. Se consideran equivalentes las figuras que mediante esas transformaciones pueden convertirse unas en otras. Así, por ejemplo, en la geometría afín, todas las elipses son equivalentes. Las propiedades de las figuras pueden describirse utilizando coordenadas arbitrarias; en coordenadas diferentes, las transformaciones admisibles se representan de manera distinta, pero se trata sólo de diferentes representaciones de un mismo grupo, que es el que determina a la geometría dada.

Al igual que la teoría de Riemann, estas ideas se aplicaron en matemática a los espacios de cualquier número de mediciones. Sin embargo, como ya se ha dicho, la teoría de Riemann, al admitir espacios heterogéneos, no entraba en esta definición de la geometría en función de grupos. La síntesis de ambos enfoques se vio posteriormente, ya después de creada la teoría general de la relatividad, y se debió al geómetra francés E. Cartan. Pero en el conjunto esbozado de ideas, la matemática preparó el instrumental que resultó idóneo para formular la teoría de la relatividad. La matemática investigó diversos espacios posibles como formas generales de variedades de fenómenos o estados de un mismo tipo (como espacio de configuración de un sistema mecánico, espacio cromático, etc.). Para ella, el espacio tal como se entiende habitualmente se convirtió tan solo en una de tales formas. Investigar sus propiedades particulares ya no era objeto de la matemática, sino de la física. De esta suerte, la noción de espacio adquirió dos sentidos distintos: uno matemático y otro físico.

---

(8) Ver *H. Helmholtz*, "Sobre los hechos que se hallan en la base de la geometría". "Sobre los fundamentos de la geometría", págs. 366-382.

El materialismo dialéctico dio la definición general del espacio y del tiempo en su sentido físico como formas de existencia de la materia. Este punto de vista también lo defendió Lenin frente al kantismo y otros sistemas del idealismo subjetivo. La forma del objeto no es algo externo respecto a él; pertenece al objeto y se halla determinada por él mismo si el objeto no ha sido fundido en esta forma por fuerzas que le sean ajenas. De ahí que las formas de existencia del mundo material constituyan su estructura general, que se determina por las propiedades esenciales del mismo, y no algo en que el mundo se halle como inserto. Correspondientemente, la teoría racional del espacio y del tiempo infiere de modo necesario sus propiedades de las propiedades mismas de la materia y como propiedades de dicha estructura general. No fue otro el origen de la geometría, que reflejó ante todo las propiedades generales de las relaciones de los cuerpos sólidos, determinables en primer lugar por la posibilidad de su movimiento. Las representaciones sobre el espacio y el tiempo en la física newtoniana también se hallaban indisolublemente relacionadas con las leyes del movimiento de los cuerpos establecidas por la mecánica clásica. En particular, como ya hemos dicho, la noción de simultaneidad absoluta se apoyaba en la idea de que era posible arrojar un cuerpo a cualquier velocidad. Sin embargo, como suele ocurrir en la ciencia, se carecía de una comprensión suficientemente clara de tales nexos, pues no incitaban a adquirirla las tareas concretas de la física. El espacio y el tiempo se concebían como dados, como independientes de la materia de la forma. Lo que la física descubría se ajustaba a ellos a las mil maravillas.

Pero así sucedió hasta cierto tiempo. Las leyes del electromagnetismo formuladas en las ecuaciones de Maxwell entraron en original contradicción con las leyes de la mecánica. En esta última, la propiedad fundamental del espacio y del tiempo, su homogeneidad, se expresaba en el principio de la relatividad de Galileo, incluyendo el principio geométrico de la relatividad de la geometría euclidiana. Éste puede definirse como la equivalencia de todas las coordenadas rectangulares, y el principio de la relatividad de Galileo puede definirse como ampliación de ese principio geométrico de la relatividad, ampliación consistente en que los sistemas de las coordenadas rectangulares siguen siendo equivalentes también cuando es arbitrario el movimiento uniforme y rectilíneo de unos respecto a los otros. El concepto algo indefinido de equivalencia puede expresarse con exactitud en el lenguaje de los grupos de transformaciones. Las leyes generales de la mecánica son invariantes respecto a las transformaciones que convierten un sistema de coordenadas rectangulares en otro cualquiera que se mueve, respecto al primero, rectilínea y uniformemente. En lo que atañe al tiempo, siempre permanece invariable, aparte los cambios del comienzo de su cómputo y de la unidad de medición, es decir, las transformaciones admisibles para el tiempo eran tan solo las $t^1 = at + b$, y, siendo invariables las unidades de medición los

comienzos del cómputo, $t' = t$. Todas estas transformaciones de las coordenadas rectangulares y del tiempo forman el grupo de Galileo, con la particularidad de que lo importante, claro es, no estriba en que se transformen precisamente coordenadas rectangulares, pues las coordenadas pueden ser las que se quiera; lo importante es el grupo mismo, y el que se elijan unas coordenadas u otras depende sólo de la representación que se tenga del grupo.

Como quiera que en física imperaba la idea de que todo fenómeno tenía en última instancia una naturaleza mecánica, el principio de la relatividad de Galileo debía verse como universal, válido para todas las leyes, y no sólo para las leyes de la mecánica.

Mas, las leyes del electromagnetismo expresadas en las ecuaciones de Maxwell no eran invariantes respecto al grupo de Galileo. Ya lo averiguó Voigt en 1887, pero su trabajo pasó desapercibido, y en 1904 Lorentz halló las transformaciones que conservan las ecuaciones de Maxwell. Resultó, como se sabe, que al realizar esas transformaciones el tiempo no debe considerarse invariable si se pasa de un sistema a otro que se mueve respecto al primero.

En realidad, el problema se planteaba así: o la mecánica de Newton con su principio de la relatividad de Galileo y el tiempo absoluto, o la electrodinámica de Maxwell, y entonces se viene abajo o el principio de la relatividad o el tiempo absoluto. La clara visión de este problema constituyó, naturalmente, el punto de partida para Einstein.

Antes de Einstein, de hecho el problema no se había planteado así. Sólo había habido, como es notorio, diversas tentativas de dar una formulación de las leyes de la electrodinámica de los cuerpos en movimiento que concordara con los datos de la experiencia y con la mecánica clásica. Mas semejantes tentativas no habían conducido a resultados positivos. No se vio coronado por el éxito, en particular, el célebre experimento de Michelson encaminado a descubrir el movimiento de la Tierra respecto al éter. Con ello se puso de manifiesto que el principio de la relatividad también es válido para los fenómenos electromagnéticos y que en este dominio es tan imposible como en el marco de la mecánica clásica determinar el movimiento rectilíneo absoluto y uniforme. Así, la tarea consistía, de hecho, en formular debidamente las leyes de la electrodinámica. Y Einstein tituló en consecuencia su trabajo que sentó las bases de la teoría de la relatividad: *Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento.* En el dilema formulado más arriba: o la mecánica o la electrodinámica, y entonces o la relatividad o el tiempo absoluto, sacrificó la mecánica y el tiempo absoluto.

"Desde luego, es completamente absurdo decir que el materialismo... afirme... el cuadro mecánico y no el electromagnético... del mundo"[9]. ¿Por qué, pues, no tomar como base las leyes del electromagnetismo? El espacio y el tiempo son formas de la existencia

---

(9) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 296. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 310-311).

de la materia, y por esta razón sus propiedades han de inferirse de las leyes del movimiento de la materia, en vez de prescribírselos como dadas. ¿Por qué, en efecto, ahondar en nuestros conocimientos sobre el movimiento de la materia no puede llevar a cambios en las leyes del espacio y del tiempo, que nos son conocidas, es decir, en las leyes generales de las relaciones espacio-temporales de los procesos físicos?

No afirmamos que tal fuese el curso del pensamiento de Einstein. Nos limitamos a llamar la atención sobre el hecho de que, en realidad, correspondía a lo que había expresado Lenin en forma general. No hay que temer la "desaparición de la materia", el "hundimiento de principios básicos", la relatividad de tales magnitudes fundamentales como el tiempo o la masa. "«La materia desaparece»: —escribió Lenin— quiere decir que el límite hasta el que conocíamos la materia hasta ahora, se esfuma, y que nuestro conocimiento se profundiza; desaparecen propiedades de la materia que anteriormente nos parecían absolutas, inmutables, primarias (impenetrabilidad, inercia, masa, etc.) y que hoy se revelan como relativas, inherentes solamente a ciertos estados de la materia"[10]. "...El materialismo dialéctico insiste sobre el carácter aproximado, relativo, de toda tesis científica"[11], por consiguiente, también de la tesis sobre el tiempo absoluto en particular.

Ahora bien, aunque admitamos la renuncia a la simultaneidad absoluta, es necesario de todos modos definir de alguna manera la simultaneidad. Está claro de dónde ha de tomarse la definición: si aceptamos como base la imagen electromagnética del mundo, aquélla deberá apoyarse en los procesos electromagnéticos. Además, podemos recordar la práctica y aceptar correspondientemente el siguiente principio teórico del conocimiento: una definición tiene sentido físico si se relaciona con un posible experimento. Constituye un experimento mental de ese tipo, posible en principio, el intercambio de señales. Einstein lo tomó como base de su famosa definición de la simultaneidad. Y fue la piedra sillar de sus construcciones.

Einstein utilizó asimismo ese principio teórico del conocimiento para fundamentar la teoría general de la relatividad[12], y el método de los experimentos mentales adquirió más tarde sumo valor en el análisis de los fundamentos de la mecánica cuántica. Desde luego, el método no era nuevo: los experimentos mentales se habían utilizado ampliamente, por ejemplo, en la fundamentación de la termodinámica y en la deducción de las leyes de la radiación calórica. Lo nuevo era que el experimento mental pasaba a ser un recurso para elucidar las posibilidades de principio en la definición de los conceptos físicos. Los orígenes del principio citado pueden verse ya en las *Tesis*

---

(10) *Ibíd.*, pág. 275. (*Ibíd.*, pág. 288).

(11) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 276. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 289).

(12) Ver *A. Einstein*, "Fundamentos de la teoría general de la relatividad". "El principio de la relatividad". Moscú-Leningrado, 1935.

sobre Feuerbach de Marx, donde se sitúa en un primer plano el papel de la práctica, subrayando que "el litigio sobre la realidad o irrealidad de un pensamiento aislado de la práctica, es un problema puramente *escolástico*"[13].

Varios físicos, sin embargo, interpretaban este principio más bien en un sentido positivista que materialista. La definición de concepto físico se representaba como un acuerdo convencional acerca de la elección de operaciones concretas de medición. Un autor llegó a afirmar incluso que el mérito de Einstein consistía en haber visto que es necesario simplemente ponerse de acuerdo en qué acontecimientos han de considerarse simultáneos. Huelga decir que en su sentido literal esta afirmación es absurda, pues si nos atuviéramos a ella cabría "simplemente ponerse de acuerdo" en considerar simultáneos unos acontecimientos cualesquiera. El quid está en que la definición de un concepto tiene un sentido real tan solo cuando refleja algo esencial en la naturaleza. Y la misma existencia de "algo esencial" no es en absoluto un problema de ponerse de acuerdo. La misión del genio estriba en ver y expresar en la definición, eso que es esencial. La simultaneidad en la definición de Einstein no es algo convencional, sino una relación real y muy general de acontecimientos objetivamente determinada por la interacción de estos acontecimientos a través de la radiación. Las "señales" parten de los acontecimientos al margen de los acuerdos y de los experimentos, y determinan la conexión material objetiva de los fenómenos. La forma abstracta de esta conexión es lo que se expresa mediante el concepto de simultaneidad y sucesión en el tiempo. Einstein subrayaba en su trabajo la idea de que su definición podía mantenerse sin contradicciones en la teoría desarrollada por él. Y esto significa que refleja rasgos generales esenciales de la realidad.

La definición de simultaneidad lleva a precisar la noción de tiempo t y, por consiguiente, la del sistema de coordenadas espaciales y temporales x, y, z, t, vinculado a algún cuerpo —base del sistema —tomado como cuerpo en reposo.

Las ulteriores consideraciones, como escribió Einstein, se apoyan en el principio de la relatividad y en el principio de la constancia de la velocidad de la luz. El primero es el principio de Galileo aplicado no sólo a los fenómenos mecánicos, sino, además, a fenómenos físicos cualesquiera que sean. El principio que resulta nuevo es, en realidad, el segundo, en consonancia con el cual se toman como base los fenómenos electromagnéticos. De estos dos principios se infieren las transformaciones de Lorentz y las subsiguientes consecuencias para la cinemática, la electrodinámica y la mecánica.

La teoría de la relatividad formada de este modo estableció, como es notorio, la relatividad poco menos que de todas las magnitudes consideradas como no relativas en la física clásica. Del tiempo y del espacio absolutos no quedó más que el recuerdo. El tiempo y el

---

(13) *C. Marx y F. Engels*, "Obras", t. III, pág. 2. ("Obras escogidas en dos tomos", edic. cit., t. II, pág. 404).

espacio tienen un sentido determinado y admiten una determinada medida tan solo en relación con tal o cual sistema de cómputo.

El espacio-tiempo absoluto y el relativismo

Nos imaginamos que el mundo existe y tiene determinadas propiedades independientemente del sistema de cómputo a que estas propiedades correspondan o del sistema en función del cual se manifiestan. Así, en la geometría corriente, las proyecciones de un cuerpo dado sobre diversos planos son distintas, pero el cuerpo mismo tiene una forma determinada, la cual únicamente en su relación con distintos planos, da diversas proyecciones. Cabe recordar, además, que la geometría de Euclides se exponía sin coordenadas de ninguna clase, es decir, sin sistemas de cómputo. ¿No es posible, asimismo, una teoría del espacio y del tiempo sin sistemas de cómputo? ¿Y no son el espacio y el tiempo mismos, como todas las magnitudes cuya relatividad estableció la teoría de Einstein, meras manifestaciones en diferentes sistemas de cómputo de algo no relativo, absoluto?

Lenin escribió que "en la dialéctica (objetiva) también es relativa la diferencia entre lo relativo y lo absoluto. Para la dialéctica objetiva *en* lo relativo *está* lo absoluto. Para el subjetivismo y la sofística lo relativo es sólo relativo y excluye lo absoluto"(14).

La teoría de la relatividad descubrió el nexo entre el espacio y el tiempo. Ese nexo está contenido ya en la propia constancia de la velocidad de la luz. Esta velocidad es la relación de la trayectoria con el tiempo y, por ende, su constancia y su igualdad en todos los sistemas denotan un nexo universal entre las magnitudes espaciales y temporales. Lo absoluto no ha de hallarse en el espacio y en el tiempo como tales, sino en su unión. Así lo vio Minkowski y lo expresó mediante las palabras con que inició su célebre conferencia "Espacio y tiempo". "Las ideas sobre el espacio y el tiempo que me propongo exponer ante ustedes han surgido de una base física experimental. En ello está su fuerza. Su tendencia es radical. Desde ahora, el espacio por sí mismo y el tiempo por sí mismo deben convertirse en sombras, y únicamente debe conservar todavía independencia cierta especie de unión de ambos"(15).

Como geómetra, Minkowski examinaba la teoría de la relatividad desde el punto de vista de principios desarrollados ya en geometría, según los cuales una u otra geometría se define como doctrina sobre los invariantes del grupo correspondiente de transformaciones. En la teoría de la relatividad, son las transformaciones de Lorentz. Por consiguiente, se trata de la geometría determinada por este grupo. El grupo indicado actúa en un "espacio" cuatridimensional, pues se trata de cuatro coordenadas: x,y,z y t. El conjunto de todos los "lugares" (x,y y z) en el tiempo t constituye una diversidad única: el espacio-

(14) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 317.

(15) *H. Minkowski*, "Espacio y tiempo". "El principio de la relatividad", pág. 181.

tiempo. Y es ésta la que representa la forma absoluta de la existencia de la materia.

A propósito del nombre "postulado de la relatividad" aplicado al requisito de invariancia respecto al grupo de Lorentz, dijo Minkowski: "Como quiera que el sentido del postulado se reduce a que en los fenómenos se nos da tan solo un mundo cuatridimensional en el espacio y en el tiempo, pero las proyecciones de este mundo sobre el espacio y sobre el tiempo pueden tomarse con cierta arbitrariedad, preferiría dar a esta afirmación el nombre de: *postulado del mundo absoluto* (o brevemente: postulado mundial)"[16].

Las relaciones espacio-temporales y las propiedades de los cuerpos y de los procesos no dependen del sistema de cómputo, sino que simplemente se manifiestan de manera distinta en sistemas diferentes. En general, las magnitudes físicas, que dependen del sistema de cómputo y en este sentido son relativas, constituyen proyecciones sui géneris de magnitudes más generales, las cuales ya no dependen del sistema de cómputo. Correspondientemente, Minkowski dio la formulación cuatridimensional de las leyes de la mecánica relativista y de la electrodinámica. De esta suerte no sólo desarrolló la profunda comprensión de la teoría de la relatividad, sino que hizo, además, mucho más claro su instrumental matemático.

Ello no obstante, los físicos no captaron en toda su profundidad la idea de Minkowski sobre la teoría de la relatividad. El punto de vista de la relatividad según el cual todo fenómeno se toma en relación con un determinado sistema de cómputo era más corriente, en primer lugar, porque tal es la posición real del experimentador, del observador, y en segundo lugar porque también el teórico examina los fenómenos utilizando un determinado sistema de coordenadas. Pero existía además un tercer factor: la filosofía positivista, que por principio asigna un valor de realidad tan solo a lo dado en la observación directa; no obstante, todo lo demás que se halla contenido en las teorías de la física no se trata como representación de la realidad, sino como construcción que sólo señala los datos de las observaciones. Desde este punto de vista, el mundo cuatridimensional de Minkowski es tan solo un esquema que no refleja ninguna realidad por encima de la que está ya expresada en la exposición inicial de la teoría de la relatividad. Por esto aparecen como poco fundamentadas la objeción de Minkowski contra el término mismo de "postulado (teoría) de la relatividad" y su propuesta de sustituirlo por el término de "postulado del mundo absoluto".

De este modo hubo dos enfoques distintos de la teoría de la relatividad. El primero fue el de Minkowski, que se basa en la representación del espacio-tiempo como forma absoluta y real de la existencia del mundo de la materia. El segundo fue puramente relativista; en él lo fundamental es el sistema de cómputo. Evidentemente, el primer enfoque es materialista y responde a la lógica natural del ob-

---

(16) *H. Minkowski*, "Espacio y tiempo". "El principio de la relatividad", pág. 192.

jeto: la forma del objeto determina las manifestaciones relativas de la misma. En cambio, el segundo enfoque, cuando se lleva hasta la renuncia a conferir valor de realidad al mundo cuatridimensional y a las magnitudes cuatridimensionales, resulta positivista y niega que lo relativo sea sólo un límite y una manifestación de lo absoluto. El primer enfoque corresponde a la dialéctica objetiva; el segundo, al subjetivismo, tal como están contrapuestos en las palabras de Lenin citadas más arriba.

Las tendencias filosóficas de estas orientaciones se observan muy claramente. La segunda va de Berkeley a Mach, y la influencia de las concepciones de este último repercutió en Einstein, y así lo reconoció el propio Einstein, como es sabido. Podemos remitirnos al artículo de R. Dicke, quien señala esa conexión aduciendo citas de Berkeley, de Mach y de Einstein[17]. En las citas no se habla de berkeleísmo ni de machismo en un sentido directamente filosófico, sino tan solo de la relatividad del movimiento. En la concepción misma de la relatividad del movimiento no hay ni berkeleísmo ni machismo pero Berkeley era un filósofo bastante consecuente para que sus ideas sobre el movimiento respondieran a su posición filosófica general: "Existir significa ser perceptible". De esta suerte, el relativismo que vuelve la espalda a lo absoluto se remonta a Berkeley, cuya línea prosigue en física.

El objetivo principal que Lenin perseguía en su libro *Materialismo y empiriocriticismo* consistía precisamente, primero, en demostrar que las formas de la filosofía subjetivista de su tiempo, tratárase del machismo u otros de sus matices, sólo constituían cierta continuación de la línea de Berkeley, y segundo, en explicar el punto de vista del materialismo dialéctico y defenderlo contra todas las tentativas de unión con cualquiera de los matices de la filosofía subjetivista. De ahí que el libro de Lenin se halle directamente relacionado con las dos tendencias en la interpretación de la teoría de la relatividad. Detrás de esas tendencias en física se encuentran tendencias filosóficas.

Desde luego, el criterio relativista equivale matemáticamente al punto de vista del "mundo absoluto", de modo análogo a como, digamos, la formulación de las leyes de la mecánica de Newton en coordenadas equivale a la formulación vectorial de las mismas. Minkowski no creó ninguna teoría nueva, llegó sólo a una comprensión más profunda de la teoría de Einstein. Ahora bien, de la manera de entender qué es lo esencial y básico depende la orientación del pensar no ya en la resolución de los problemas de la teoría misma, sino, además, en la búsqueda y comprensión de sus posibles aplicaciones y generalizaciones. La diferencia entre los dos puntos de vista influyó de modo esencial al pasar a la teoría general de la relatividad y dio origen a una discusión que todavía dura. Los errores en la comprensión de la teoría —a veces llegan hasta a perder de vista cosas del

(17) Ver *R. Dicke*, "El polifacético Mach". "La gravitación y la relatividad", Moscú, 1965, págs. 222-223.

todo evidentes e indiscutibles— tienen su origen sobre todo en la incapacidad para ver la dialéctica real de lo relativo y lo absoluto. Si tal o cual escuela de físicos se desliza hacia una filosofía reaccionaria, la causa radica ante todo en el hecho de que los físicos desconocen la dialéctica. La física ha dado a luz el materialismo dialéctico, pero el alumbramiento ha sido doloroso. En una palabra, las cosas han sucedido como dijo Lenin. Ahora nos convenceremos de que es así examinando la teoría general de la relatividad y los diversos puntos de vista que acerca de ella se mantienen.

La teoría general de la relatividad

A despecho de todos los éxitos de la teoría de la relatividad, no había manera de incluir en ella la gravitación, aunque ya Poincaré en su primer trabajo —en el cual desarrolló la teoría de la relatividad paralelamente a Einstein— lo intentó, como lo intentaron después Minkowski y otros. Transcurrieron diez años hasta que Einstein resolvió el problema generalizando la teoría de la relatividad, que pasó a denominarse especial a diferencia de la nueva, general. La teoría general de la relatividad es la teoría del espacio-tiempo que explica la gravitación por la dependencia en que la estructura de esta última se halla respecto a la distribución y al movimiento de las masas de la materia.

En la teoría especial de la relatividad, el espacio-tiempo es "plano", homogéneo e isótropo. Todas las relaciones espacio-temporales, y según el principio de la relatividad todas las leyes de la física en general, son invariantes respecto a las transformaciones de Lorentz. Ahora bien, en la teoría general de la relatividad esto sigue siendo verdadero sólo aproximadamente y en pequeñas zonas; en su conjunto, por el contrario, el espacio-tiempo no es homogéneo ni es isótropo, y el principio de la relatividad no se cumple. La diferencia de estructura entre el espacio-tiempo y el espacio-tiempo "plano" de la teoría especial, se halla determinada por la distribución y por el movimiento de las masas de la materia. Y esa estructura determina a su vez el movimiento de las masas como si estuvieran bajo el influjo de las fuerzas de gravitación, es decir, las masas de la materia al determinar la estructura del espacio-tiempo, determinan también, por este medio, su propio movimiento. En realidad, el campo de gravitación no es un campo de fuerzas, sino que constituye como una diferencia de estructura del espacio-tiempo respecto a la métrica plana: el campo tensorial de la curvatura. Como quiera que la estructura del espacio-tiempo depende claramente de la distribución de las masas de la materia, puede decirse que esa estructura misma no es absoluta, y en este sentido tampoco es completamente absoluto el espacio-tiempo. En cambio, la división del espacio y del tiempo se hace todavía más relativa, y en grandes dimensiones puede resultar hasta imposible en un sentido exacto y unívoco. Unicamente es absoluto el mundo material en su totalidad, mientras que todas sus formas, todos sus fenómenos y demás son, de uno u otro modo, relativos. Lenin te-

nía toda la razón cuando subrayaba que el materialismo dialéctico no admite ningún absoluto excepción hecha de que existe el mundo material y nosotros lo reflejamos en nuestra conciencia, que asciende de una verdad relativa a otra y así va haciéndose cargo, en ese movimiento, de una parte cada vez mayor de la verdad absoluta, objetiva.

Al construir la teoría de la gravitación surgió como una dificultad esencial que se tuvo que superar, el problema de la elección de los sistemas de cálculo, de los sistemas de coordenadas espacio-temporales. En la teoría especial había sistemas principales, los inerciales; en ellos, las leyes de la naturaleza se presentan de la manera más sencilla: en sus formulaciones no entran magnitudes de ninguna clase que los caractericen especialmente. Dichos sistemas se hallan ligados de modo natural a la estructura misma del espacio-tiempo plano de manera análoga a como se hallan ligadas de modo natural a las propiedades del plano euclidiano las habituales coordenadas rectangulares.

La renuncia al espacio-tiempo plano acarrea la desagradable consecuencia de que el concepto mismo de sistema inercial pierde sentido y lo conserva sólo para las pequeñas zonas en una primera aproximación, tanto más cuanto que la estructura del espacio-tiempo no se presenta anticipadamente como fijada, motivo por el cual resulta imposible indicar anticipadamente las bases por las cuales habría que preferir unas coordenadas a otras. En consecuencia, era necesario partir sencillamente de unas coordenadas cualesquiera sin asignar de antemano superioridad alguna a unas respecto a las otras. Dicho con otras palabras, había que considerar a priori iguales en derechos a todos los sistemas de coordenadas en general, y expresar las relaciones espacio-temporales y en general las leyes de la física mediante unas coordenadas cualesquiera. Teniendo en cuenta que la forma general de las ecuaciones en que éstas sirven para unas coordenadas cualesquiera se llama covariante, la exigencia enunciada se denomina principio de covariancia. Únicamente a posteriori, cuando la estructura del espacio-tiempo está ya fijada en grado suficiente, se elige con conocimiento de causa el sistema de coordenadas que corresponde de la mejor manera posible a esa estructura.

Tal situación se había dado ya, por primera vez, en la mecánica clásica cuando Lagrange formuló las leyes de la mecánica del sistema de los puntos materiales no en las coordenadas rectangulares de esos puntos, sino en "coordenadas generalizadas" elegibles de modo que se pudieran tomar en consideración anticipadamente las conexiones superpuestas al sistema. En geometría, las coordenadas arbitrarias aparecieron en el trabajo en que Gauss desarrolló la doctrina de la geometría en cualquier superficie curva, superficie en la que introdujo tales coordenadas. Además, todas las ecuaciones se escribían en forma válida para todas las coordenadas, es decir, en forma covariante. En cuanto a las coordenadas principales, pueden determinarse en dependencia de las propiedades de la superficie y del carácter de la figura que se examine.

De esta suerte, en la elección de las coordenadas arbitrarias y

en el requisito de covariancia en principio no hay nada nuevo ni ningún contenido físico. Las coordenadas en cualquier espacio pueden elegirse, en principio, de la manera que se quiera. Las ventajas de unas coordenadas frente a las otras sólo se ponen en claro en relación con la situación concreta a cuya descripción de aplican.

Sin embargo, al elaborarse la teoría general de la relatividad, el paso a las coordenadas arbitrarias parecía tan revolucionario que se le confirió el rango de principio especial, denominado principio general de la relatividad, y se formuló como principio de equivalencia de todos los sistemas de cómputo independientemente del movimiento de los cuerpos a los que tales sistemas se hallan vinculados. En particular se afirmaba la equivalencia de los sistemas de Ptolomeo y de Copérnico. Es más, hasta se llegó a afirmar que el problema principal que resolvía la teoría general de la relatividad no consistía en proporcionar una teoría de la gravitación conjugada con la teoría de la relatividad, como en realidad era, sino en formular las leyes de la física de manera válida para el sistema arbitrario de coordenadas, es decir, en forma covariante[18].

Mas, poco después de que viera la luz el principal trabajo de Einstein sobre la teoría general de la relatividad, Krechman advirtió que el "principio general de la relatividad" no es de ningún modo un principio físico o una ley, sino que representa tan sólo una exigencia: la de escribir las ecuaciones en forma covariante, en lo cual, como se ha dicho, no había nada nuevo. Cuando Minkowski hubo expuesto la formulación cuatridimensional de las leyes de la cinemática relativista, de la mecánica y de la electrodinámica, escribir las ecuaciones que expresan estas leyes en unas coordenadas cualesquiera se reducía a simples transformaciones formales. Las coordenadas, cualesquiera que sean, pueden aplicarse a cualquier teoría, trátese de la mecánica clásica, de la teoría especial de la relatividad o de cualquier otra, y el problema de escribir las ecuaciones en forma covariante es puramente matemático.

Einstein estuvo de acuerdo con la observación de Krechman. Ello no obstante, se mantuvo el convencimiento de que el principio general de la relatividad tenía un valor especial. Al parecer, no había fundamento alguno para discutir, mas la discusión se produjo. Se debatía, en particular, si eran o no equivalentes los sistemas de Ptolomeo y de Copérnico pese a que, al parecer, la experiencia había resuelto esa cuestión hacía ya mucho tiempo. Se comprende —¡ya Ptolomeo lo comprendía!— que el movimiento de los astros puede describirse en distintos sistemas de coordenadas. Nosotros siempre describimos ese movimiento en relación con nosotros mismos al hablar de la salida del Sol o de que, digamos, la Luna está muy alta en el cielo, etc., etc. En una palabra, eso es de una trivialidad crasa.

Ahora bien, la experiencia demuestra que las leyes de la física son distintas en relación con los sistemas geocéntrico y heliocéntrico

---

(18) Ver, por ejemplo, *A. Einstein* y *L. Infeld*, "La evolución de la física", Moscú, 1965.

de cómputo; si se aplica el primer sistema, en estas leyes entra la velocidad de rotación de la Tierra. Resulta, en consecuencia, que los fenómenos de un mismo género transcurren de manera distinta en relación con este sistema. En la Tierra, esto se descubre en el derrubio de las orillas derechas de los ríos en el hemisferio norte, en el giro del péndulo de Foucault y en otros efectos. Por consiguiente, los dos sistemas son aplicables, pero no son equivalentes en el sentido en que lo son los sistemas inerciales (en los márgenes de exactitud de la mecánica clásica o de la teoría especial de la relatividad). En los sistemas inerciales, las leyes de la física no contienen magnitudes que diferencien ellas mismas a esos sistemas, mientras que en el sistema geocéntrico aparece tal magnitud (la velocidad angular) y, correspondientemente, en relación con este sistema, los fenómenos transcurren de modo distinto. Si dentro de un avión no es posible descubrir el influjo de su vuelo uniforme, en la Tierra misma, dentro de una habitación cerrada, es posible descubrir el influjo de la rotación del planeta.

Confrontemos en su aspecto general el principio de covariancia y el principio de relatividad. El primero consiste en la exigencia de expresar las leyes mediante ecuaciones de forma válida para toda clase de coordenadas. Ello se logra haciendo que en las ecuaciones entren claramente magnitudes que caractericen un sistema u otro de coordenadas. Por ejemplo, si utilizamos coordenadas oblicuángulas en un plano, en las fórmulas entra el ángulo entre los ejes de las coordenadas. Cuando una ecuación está escrita según unas coordenadas dadas cualesquiera, es sencillo obtener su forma covariante. Basta introducir, en lugar de las coordenadas dadas, funciones arbitrarias de otras coordenadas cualesquiera y correspondientemente transformar las otras magnitudes que entran en la ecuación si éstas dependen en general del sistema de coordenadas (como, digamos, los vectores correspondientes). Se trata, pues, de una operación puramente matemática. Como quiera que las ecuaciones obtenidas contienen funciones arbitrarias, no son, claro está, concretamente determinadas. La elección de estas funciones es lo que determina la del sistema de coordenadas y, correspondientemente, la especie concreta de ecuación. Dado que la especie concreta de ecuación cambia en consonancia con la transformación de las coordenadas, la forma general de la ecuación, válida para cualquier sistema de coordenadas, se denomina covariante.

Si los sistemas coordenados se realizan físicamente, la dependencia de la ecuación concreta respecto al sistema de coordenadas significa que la ley del curso del fenómeno en relación con este sistema depende del sistema. De este modo, en las ecuaciones referidas a un sistema giratorio, entra la velocidad angular del sistema, y los fenómenos dependen de esta velocidad. El principio de la relatividad físicamente estriba en que los fenómenos en relación con determinados sistemas transcurren según leyes iguales. Las expresiones matemáticas de estas leyes no contienen, por consiguiente, magnitudes que los diferencien. Al pasar de un sistema a otro, las ecuaciones no cambian en

absoluto, es decir, *son invariantes y no simplemente covariantes*, en relación con las transformaciones de las coordenadas de uno de los sistemas examinados a otro. El principio de la relatividad de la teoría de Einstein se expresa matemáticamente en el requisito de invariancia de las transformaciones de Lorentz. De este modo, el principio de covariancia y el principio de relatividad son cosas totalmente distintas. El primero atañe a una exigencia puramente matemática; el segundo refleja una ley de la naturaleza consistente en la propiedad de homogeneidad, gracias a la cual los fenómenos transcurren de la misma manera en sistemas diferentes.

En la teoría general de la relatividad, el principio de relatividad o de invariancia de Lorentz es verdadero tan sólo de manera aproximada y local, y a causa de la heterogeneidad del espacio-tiempo, hablando en términos generales, no existen transformaciones en las cuales las ecuaciones de la física permanezcan invariantes. En ellas siempre entran magnitudes que caracterizan la estructura del espacio-tiempo y, a la vez, el sistema de coordenadas (componentes del tensor métrico g_{ik}). La dificultad, a propósito sea dicho, radica precisamente en que estas magnitudes expresan a la vez dos cosas distintas: la estructura del espacio-tiempo, es decir, algo "absoluto", independiente del sistema de coordenadas, y las propiedades del sistema mismo de coordenadas, es decir, algo relativo. Separar estas dos cosas con el instrumental matemático que suele aplicarse en la teoría de Einstein es imposible.

Ahora bien, dado que la estructura misma del espacio-tiempo resulta variable, es posible considerarla como una especie de campo físico. Haciendo abstracción de la estructura, el espacio-tiempo queda sólo como un espacio cuatridimensional, carente de toda métrica, de toda propiedad, excepto la de continuidad (y la de "diferenciabilidad": resulta diferenciable por una diversidad cuatridimensional). Desde este punto de vista, *los sistemas coordenados, cualesquiera que sean, resultan equivalentes por la sencilla razón de que se excluye de antemano todo fundamento posible para diferenciarlos.* El principio general de la relatividad se cumple, mas por una causa trivial: la de hacer abstracción de todas las propiedades especiales del espacio-tiempo. Con ello también pierde sentido la noción de movimiento acelerado o no acelerado, ya que para determinar la aceleración se requiere una medida, que simplemente no existe en un espacio sin métrica. Por eso no tiene sentido hablar aquí de equivalencia de sistemas de cálculo que se mueven de manera distinta, dado que no se comprende lo que significa la noción misma de su movimiento. Porque cuando no hay ninguna estructura, no hay noción alguna acerca de lo que el tiempo es. El movimiento de un punto se representa sencillamente por cierta línea en la diversidad cuatridimensional, y una línea no es en nada ni mejor ni peor que otra, habida cuenta de que no existe ningún fundamento para diferenciar sus propiedades.

De esta suerte, desaparece toda física; de ella no queda más que una cosa: el espacio-tiempo es en general una diversidad cuatridimensional. Ahora bien, esto también es verdad en la teoría especial

de la relatividad y en la mecánica clásica, lo mismo que en la teoría general de la relatividad. El "principio general de relatividad" es verdadero en todas estas teorías. No expresa nada más que el mismo requisito de covariancia, dado que este requisito estriba, precisamente, en que las ecuaciones se escriban en una forma válida para todas las coordenadas, cualesquiera que sean.

La específico de la teoría general de la relatividad sólo se revela cuando se introducen en el examen la estructura y la métrica del espacio-tiempo. La heterogeneidad de dicha estructura es lo que constituye el rasgo singular de la teoría indicada. En pocas palabras, su esencia no está en el "principio general de relatividad" ni en la arbitrariedad con que se elijan los sistemas de coordenadas, sino en las conjeturas singulares sobre la estructura del espacio-tiempo. Más brevemente: la esencia no está en la relatividad, sino en lo absoluto, en las propiedades del espacio-tiempo independientemente de los sistemas de cómputo y de coordenadas.

Todavía algo más sobre la teoría general de la relatividad

A pesar de que todo lo dicho más arriba concierne a hechos firmemente establecidos o a deducciones puramente matemáticas, la discusión en torno al principio general de relatividad se prolonga desde hace ya más de cincuenta años y sólo ahora, al parecer, se aproxima a su feliz culminación[19]. Esta discusión refleja la contradicción de los dos puntos de vista, expuestos más arriba, sobre la esencia de la teoría de la relatividad. Uno es relativista, toma cualquier fenómeno, y en particular las relaciones y propiedades espacio-temporales, únicamente en relación con un sistema de cómputo, de suerte que para este punto de vista todo movimiento sólo es relativo. El segundo punto de vista es el que parte de Minkowski y toma como base el espacio-tiempo mismo, los procesos mismos en su propia forma cuatridimensional, espacio-temporal, de modo que para él, la relación de los fenómenos con tal o cual sistema de cómputo es algo secundario. En cambio, el movimiento del cuerpo se comprende como modo de su existencia —su trayectoria espacio-temporal, cuatridimensional— y por esto también es absoluto. Tan solo son relativas sus "proyecciones" en distintos sistemas de cómputo. Por ejemplo, el movimiento por inercia, la caída libre en el campo de gravitación, se presenta como línea geodésica en el espacio-tiempo cuatridimensional, es decir, como línea cuya curvatura es igual a cero. En cambio, el movi-

---

(19) R. Feynman en el libro "Carácter de las leyes físicas" (Moscú, 1968, págs. 100-101) escribe: "Muchos indican que, en realidad, la Tierra gira respecto a las galaxias, y dicen que si hiciéramos girar las galaxias junto con la Tierra, las leyes no cambiarían (en comparación con las que se dan en los sistemas inerciales. - A. A.). Bueno, yo, personalmente, no sé lo que sucedería si pudiéramos hacer girar todo el universo... No puede afirmarse que todo movimiento es relativo. No se halla en esto el contenido del principio de relatividad".

miento con aceleración se representa mediante una línea con una curvatura distinta de cero. La curvatura es una magnitud no relativa y caracteriza esa misma línea independientemente de los sistemas de coordenadas, cualesquiera que sean. Nada tiene, pues, de sorprendente que en los sistemas que se mueven con una aceleración, los procesos transcurran de otro modo, y las coordenadas vinculadas a tales sistemas no sean equivalentes a las que están vinculadas a cuerpos que se mueven por inercia. El movimiento no sólo es relativo; también es absoluto. Puede decirse que es la relación del cuerpo dado no ya con otros cuerpos individualmente delimitados, sino, además, con toda la estructura del espacio-tiempo. Dicho sencillamente: afirmar la relatividad de todo movimiento no es más sensato que afirmar la relatividad de las líneas en el plano, sea el arco de una circunferencia o el segmento de una recta, da lo mismo. (Pero, evidentemente, la diferencia absoluta del arco y del segmento se determina ella misma por la relación de ambos con la estructura del plano, la diferencia misma entre lo relativo y lo absoluto es relativa).

El punto de vista relativista, como ya hemos dicho, se remonta, por sus orígenes, a Berkeley, quien escribió por ejemplo lo siguiente: "Si cualquier tesis es relativa, también es relativo cualquier movimiento que, siendo precisamente movimiento, pueda representarse sólo después de determinar su dirección, y ésta, a su vez, sólo tiene sentido en relación con nuestro cuerpo o con algún otro". Y más adelante: "Supongamos que tenemos dos esferas y que, aparte ellas, no existe nada material. En este caso no hay manera de imaginarse la rotación de estas dos esferas alrededor de su centro común. Pero admitamos que de repente se crea el cielo con estrellas inmóviles y entonces en seguida podremos imaginarnos el movimiento de las esferas determinando mentalmente su posición en relación con los diversos sectores del cielo"[20].

El juicio de Berkeley, sin embargo, constituye un absurdo lógico. En efecto, si aparte dos esferas realmente "no existe *nada* material", entonces no existe ninguna conexión entre dichas esferas, no existe ni siquiera espacio fuera de ellas. Pues, ¿qué es un espacio *absolutamente* vacío, en el que, por consiguiente, resulte imposible diferenciar distintos lugares? Por tanto, hablar de algún movimiento de esas esferas imaginarias en el vacío absoluto es lógicamente absurdo. En cambio, "creadas" las estrellas, es posible determinar el movimiento no sólo porque existen estrellas, sino porque hay luz, y es ella la que nos permite establecer una conexión entre las dos esferas dadas y las estrellas[21].

---

(20) Citado según el libro "La gravitación y la relatividad", pág. 222.

(21) En un error análogo incurrió el propio Einstein cuando trató de la rotación relativa de dos cuerpos alrededor de un eje que pasa por sus centros (ver *A. Einstein*, "Fundamentos de la teoría general de la relatividad". "El principio de relatividad", págs. 232-235). No paró mientes en que sólo cabe juzgar de la rotación de un cuerpo respecto a otro cuando entre ellos existe una conexión material. El observador

El espacio (el espacio-tiempo) no está vacío, está lleno de radiación y de otros campos, y sólo por esto es posible juzgar del movimiento. Cuando se habla de un espacio vacío queda en la mente la idea de que en él existen lugares distintos y de que se compone, ese espacio, de puntos. Ahora bien: ¿qué significan el punto dado *A* y otro punto *B* si estos puntos no se diferencian en nada, literalmente en nada? Por consiguiente el propio "espacio vacío" no es más que una imagen abstracta del "espacio lleno" en la cual se conserva tan sólo la noción de que los puntos en el espacio se diferencian de alguna manera. Esta diferenciación es, precisamente, la última huella de la materia, y si también tal huella desaparece, los puntos dejan de diferenciarse, se pierde la noción de los puntos *A* y *B*, y con ella desaparece el espacio mismo. En matemática, el espacio se define como un conjunto de elementos denominados puntos, y no como un vacío absoluto.

Pero si tenemos en cuenta que el espacio (el espacio-tiempo) está lleno de materia y que en realidad no es otra cosa que la forma de existencia de la materia, la estructura general de las conexiones de sus elementos, entonces también el movimiento de un cuerpo en el espacio es su "lugar" en dicha estructura. Es una trayectoria cuatridimensional y por ello tan absoluta como es "absoluta" la línea en el plano. El hecho de que existan líneas iguales que se pueden reunir, o el que una línea dada se represente en coordenadas diferentes con distintas ecuaciones no excluye que la línea pese a todo exista como un objeto determinado. No es menos determinado el movimiento de un cuerpo en el espacio-tiempo, que existe, como existe el propio cuerpo. Porque no existen cuerpos "instantáneos", como explicó ya antes de la teoría de la relatividad Wells en su *Máquina del tiempo*. El cuerpo es extenso en el espacio y en el tiempo, es un objeto espacio-temporal. Puede decirse que su extensión temporal es su movimiento. Este movimiento, en distintas relaciones, en sistemas diferentes, puede aparecer de modo diverso: sea como movimiento uniforme respecto a un sistema dado, sea como movimiento acelerado respecto a otro sistema, de modo análogo a como en las coordenadas rectangulares, la circunferencia se representa mediante una ecuación cuadrática, y en las polares con el centro en el centro de la circunferencia, mediante una ecuación lineal.

Por consiguiente, el relativismo exagera el valor de la relatividad, la separa de lo absoluto, de la materia, y ello le hace incurrir en errores. Cómo no recordar, al respecto, el profundo juicio de Lenin de que "desde el punto de vista del materialismo *dialéctico*, el

---

situado en un cuerpo ve el otro cuerpo porque hay luz. De esta suerte se presupone la existencia de un campo de radiación. Entonces el giro del cuerpo se determina también respecto a dicho campo. De ahí que para determinar cuál de los dos cuerpos gira "en realidad" y no sólo respecto a otro, no es necesario referirse a esas estrellas de Berkeley o a las masas apartadas de Mach. En cambio, si excluimos el campo de radiación, ¡excluimos asimismo el concepto de rotación de un cuerpo respecto a otro!

idealismo filosófico constituye un desarrollo... *unilateral*, exagerado (un abultamiento, una hinchazón) de uno de los rasgos, partes o límites del conocimiento dándole un significado absoluto, *separado* de la materia, de la naturaleza..."[22] En física, el relativismo por sí mismo no es aún idealismo. Sólo es una exageración unilateral de la relatividad descubierta por la teoría de Einstein; separa de la materia lo relativo, por ejemplo cuando se olvida de la radiación que llena el espacio y proporciona el único fundamento para juzgar del recíproco movimiento de los cuerpos. (Desde luego, aparte la radiación, el nexo de los cuerpos puede establecerse mediante otros campos o mediante el "lanzamiento" de partículas). Pero el relativismo en física está relacionado con el berkeleísmo y constituye una senda que lleva a este último si se avanza por ella demasiado lejos, cosa que, desde luego, no ha podido hacer ningún físico sin dejar de ser un físico, es decir, un hombre dedicado a la investigación de la naturaleza y no de sus propias percepciones. Cabe decir que la misma célebre definición de Berkeley: "Existir significa ser perceptible" presupone la existencia de la luz por la cual se percibe un objeto alejado. De otro modo no hay objeto, sino únicamente percepción, y llegamos al solipsismo.

Entre los especialistas en teoría de la relatividad se manifestó con singular tenacidad y rigor contra el relativismo Vladímir A. Fok. Como se ve por las palabras de Fok citadas al comienzo de nuestro artículo, en la formación de su punto de vista influyó el libro de Lenin *Materialismo y empiriocriticismo*. Como prueba de la suma divergencia que existe en la interpretación que los físicos dan a la teoría general de la relatividad, citaremos las palabras que escribió J. Sing en el prólogo a un voluminoso trabajo suyo de 1960 sobre dicha teoría: "...El procedimiento geométrico de examinar el espacio-tiempo, arranca directamente de Minkowski, quien protestó contra el empleo de la palabra «relatividad» aplicada a una teoría que se basa en «lo absoluto» (espacio-tiempo), y estoy convencido de que si hubiera vivido hasta la creación de la teoría general de la relatividad, habría repetido su protesta usando incluso expresiones más duras. Sin embargo no tenemos por qué inquietarnos en lo tocante al nombre, pues la palabra «relatividad» significa ahora, ante todo, la teoría de Einstein, y sólo en segundo lugar la brumosa filosofía que usó tal vez inicialmente el vocablo. Precisamente para apoyar las concepciones de Minkowski sobre el principio de la relatividad me sitúo, como se ve, en el difícil camino del misionero. Cuando, durante las discusiones en torno al relativismo, intento hacer las cosas más claras recurriendo a un esquema espacio-temporal, los otros participantes en el debate miran esa tentativa con cortés desapego y después de una pausa provocada por la turbación, como si fueran testigos de una infantil falta de tacto, reanudan la polémica apoyándose en sus propios conceptos. Quizás se refieran al principio de equivalencia. En este caso, me llega a mí el turno de no comprender, cortésmente, de qué se tra-

(22) V. *I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 322.

ta, pues jamás he logrado entender este principio... ¿Significa tal vez que los efectos del campo de gravitación son inseparables de los efectos de la aceleración del observador? De ser así, esto no es verdad. En la teoría de Einstein, el campo de gravitación está o no está presente según sea distinto de cero o igual a cero el tensor de Riemann. Esta propiedad es absoluta; no está relacionada de ningún modo con la línea de universo de algún observador. El espacio-tiempo o es plano o es curvo... El principio de equivalencia cumplió las importantes funciones de comadrona al nacer la teoría general de la relatividad, mas, como observó Einstein, la criatura nunca habría podido salir de los pañales de no haber sido la idea de Minkowski. Yo propongo inhumar a la comadrona con los correspondientes honores y mirar cara a cara los hechos del espacio-tiempo absoluto"[23].

Respecto al principio de equivalencia, aclararemos lo siguiente. La desaparición de las fuerzas de gravitación en un sistema de caída libre constituyó uno de los puntos de partida de la teoría de Einstein. Pero cuando ya se supone que el espacio-tiempo es plano en lo infinitamente pequeño, el principio de equivalencia como posibilidad de excluir las fuerzas de gravitación resulta ser simplemente la expresión física de un teorema de la geometría de Riemann conocido hace mucho tiempo. Por este motivo, en la teoría misma de Einstein, no constituye un "principio" en mayor medida que cualquier otro teorema geométrico. Así, pues, el relativismo queda vinculado a una insuficiente comprensión hasta de sencillos hechos matemáticos, con la particularidad de que errores de ese tipo se encuentran incluso en autores descollantes.

Precisaremos aún la noción de principio de relatividad. Una ley física determina el nexo de algunas características de unos fenómenos cualesquiera o de uno solo. En aras de la sencillez nos imaginaremos que se trata de dos características o de dos sistemas de características que designaremos x e y. Entonces la ley se presenta en forma de dependencia $F\ (x,y) = 0$. Sin embargo, esto no es completamente exacto, pues se han de tener en cuenta las condiciones en que semejante dependencia se descubre. Por eso, designando por A el complejo de tales condiciones, debemos escribir la ecuación simbólica, que expresa la ley dada, en el siguiente aspecto:

$$F\ (x,y;\ A) = 0. \qquad (1)$$

A continuación analizaremos las condiciones mismas. Primero, cabe delimitar en ellas un "fondo" constituido por condiciones invariables que por lo común sólo se sobreentienden. Las designaremos como B. Esto puede ser en general el espacio-tiempo o bien, por

---

(23) *J. L. Sing* "La teoria general de la relatividad", Moscú, 1963, págs. 8-9. Puede hallarse otro testimonio de la polémica y de la incapacidad de físicos eminentes por desprenderse del relativismo, en las memorias de L. Infeld y en la respuesta que le dediqué; ver *L. Infeld*. "Páginas de la autobiografía de un físico". "Novi mir", 1965, Nº 9; *A. D. Alexándrov*, "Verdad y error". "Voprosi filosofii", 1967, Nº 4, pág. 76.

ejemplo, el campo de gravitación, de un lugar dado de la Tierra, etc. Segundo, en las condiciones se delimita el sistema S respecto al cual se fijan los fenómenos y se determinan las características mismas x,y. Los fenómenos pueden entenderse como acaeciendo en el sistema S. Se le vincula un sistema de coordenadas espacio-temporales y S actúa como sistema de cómputo. Tercero, en el sistema mismo, existen, además, unas condiciones C que se fijan en relación con él y pueden modificarse determinando el curso concreto del fenómeno. De esta suerte, el complejo de condiciones se presenta como $A = (B,S,C)$ y, correspondientemente, la ecuación (1) se escribe bajo el aspecto de

$$F\ (x,y;\ B,S,C) = 0 \qquad (2)$$

Si para cierta clase de sistemas S, la dependencia que aquí se expresa es igual en todos esos sistemas, entonces S no entra en (2), y tiene el aspecto de

$$F\ (x,y;\ B,C,) = 0 \qquad (3)$$

En este caso, la ley no depende del sistema S y la ecuación es invariante respecto al tránsito de un sistema al otro. Si esto se da para cierta clase de fenómenos P y de sistemas S, se dice que para estos fenómenos y sistemas se cumple el principio de relatividad. De este modo, el principio clásico de Galileo afecta a los fenómenos mecánicos y a los sistemas inerciales.

Sin embargo, la misma diferenciación del fondo F, del sistema S y de las condiciones C es relativa y hasta cierto punto convencional. En general, siempre es posible incluir el sistema en las condiciones C: el fenómeno transcurre sobre el fondo F en las condiciones C incluido el hecho de que transcurre en el sistema S. Siendo éste el punto de vista, la ecuación general (2) adquiere el aspecto (1), de modo que S está incluido en C y resulta que aquí se cumple el principio de relatividad. Pero ello es así por la trivial causa de que los sistemas mismos se incluyen en las condiciones variables C.

Si nos limitamos a la teoría especial de la relatividad, la métrica espacio-tiempo está fijada. Por esto no es natural incluirla en las condiciones variables C: constituye un fondo constante, y en él, como es natural, se la incluye. Exactamente lo mismo es verdad en la teoría clásica; la diferencia está sólo en que el fondo, según esta teoría, es otro: no es el espacio-tiempo de Minkowski, sino el espacio euclidiano unido al tiempo absoluto.

Ahora bien, en la teoría general de la relatividad, la métrica ya no es invariable; depende de las condiciones físicas. Por eso es imposible incluirla en el fondo en el caso de las construcciones generales de la teoría. Por otra parte, cuando están fijadas las condiciones, también se halla fijada la métrica. En este caso, es natural incluirla en el fondo dado. Por ejemplo, en las proximidades de la Tierra pueden considerarse como fijados el campo de gravitación y la correspondiente estructura del espacio-tiempo, y pueden introducirse coordenadas relacionadas de modo natural con la Tierra; cuando se examine el sistema solar, serán naturales las coordenadas relacionadas

con el Sol; cuando se examine un modelo del universo con una distribución uniforme de las masas, resultarán ventajosas coordenadas completamente distintas. En una palabra, según sean las condiciones y, correspondientemente, la estructura concreta —determinada por ellas— del espacio-tiempo, resultarán ventajosas tales o cuales coordenadas. En qué medida tales coordenadas especiales pueden ser arbitrarias y, por ende, en qué medida se cumple para ellas, aunque sea con cierta aproximación, el principio de relatividad, son cosas que también dependen de las condiciones y de lo que tomemos en consideración y desdeñemos en nuestros análisis.

La relatividad es relativa, en esto, dicho brevemente, radica la esencia de la cuestión. Todo en el mundo es relativo en una u otra medida. Ahora bien, lo relativo mismo es una faceta, un límite de lo absoluto y contiene en sí lo absoluto como, digamos, el principio de la relatividad expresa cierta propiedad no relativa del mundo: la homogeneidad de su estructura, aunque sea en pequeñas zonas y de manera aproximada. El quid está en esa dialéctica de lo relativo y de lo absoluto. Sin comprenderlo, no hay manera de llegar a entender con suficiente hondura ni la teoría de la relatividad ni la física contemporánea en general. Las interpretaciones de la teoría de la relatividad "se perdían en el idealismo" o simplemente en errores, precisamente porque sus exégetas no dominaban la dialéctica. Otros comentaristas rechazaban la alusión al idealismo y, sin comprender tampoco la dialéctica, procuraban librarse de toda relatividad o volver a las viejas representaciones sobre el espacio y el tiempo, como hizo, por ejemplo, *Janossy*.

De este modo nos convencemos de que las ideas generales de Lenin sobre la dialéctica son de un valor esencial, real, para la comprensión de la física.

¿Qué es el espacio-tiempo?

La pregunta formulada en este título puede parecer ociosa, pues la respuesta está ya dada: el espacio-tiempo es la forma de existencia de la materia. Sin embargo, la cuestión a que nos referimos en un sentido estricto es la de cómo determinar con exactitud esta forma de existencia de la materia. La respuesta no es necesaria en el nivel filosófico general, sino en el que proporcione una base para construir la teoría del espacio-tiempo. La respuesta ha de hallarse, claro está, en la teoría de la relatividad, ya que ésta constituye la teoría del espacio-tiempo. Pero aún hay que obtener de ella dicha respuesta.

La forma de un objeto no es otra cosa, en realidad, que el conjunto de las relaciones de sus partes. Por esto nos referimos a las conexiones materiales de los elementos del mundo que en su conjunto determinan el espacio-tiempo.

El elemento más simple del mundo es lo que se denomina acontecimiento. Éste es un fenómeno "puntiforme" a modo de destello de una lámpara puntiforme o bien, utilizando un concepto claro sobre el espacio y el tiempo, es un fenómeno cuya extensión en el espacio y en

el tiempo puede desdeñarse. En pocas palabras, el acontecimiento es análogo al punto en geometría e, imitando la definición de punto dada por Euclides, cabe decir que el acontecimiento es un fenómeno parte del cual no es nada; es un fenómeno "elemental". Todo fenómeno, todo proceso, se presenta como cierto conjunto concatenado de acontecimientos. Desde este punto de vista, todo el mundo se ve como un conjunto de acontecimientos.

Haciendo abstracción de todas las propiedades del acontecimiento excepto la de que existe, nos lo representamos como un punto, como un "punto mundial". El espacio-tiempo es el conjunto de todos los puntos mundiales. Sin embargo, en este concepto el espacio-tiempo no posee todavía ninguna estructura, es simplemente un conjunto de acontecimientos de los cuales se retiene simplemente un hecho: el de su existencia como acontecimientos distintos, haciendo abstracción de todas las demás propiedades y sin tomar en consideración, de momento, ninguna de sus relaciones. Puede introducirse la noción de continuidad de una serie de acontecimientos, tomándola de una representación excelente o dándole una definición adecuada. Entonces el espacio-tiempo resulta simplemente una diversidad cuatridimensional en el sentido de la topología. El espacio-tiempo, es decir, el conjunto de acontecimientos sin propiedades concretas de ninguna clase, sin ninguna estructura excepción hecha de la que se determina mediante las relaciones de continuidad, es, precisamente, el fondo que existía cuando se examinaba la teoría general de la relatividad. Ahora bien, esto no nos basta, y definimos la estructura y la misma continuidad del espacio-tiempo partiendo de la relación más general y fundamental de acontecimientos que existe en el mundo. Nos referimos al movimiento de la materia.

Todo acontecimiento actúa de uno u otro modo sobre algunos otros acontecimientos y él mismo está sujeto a la acción de otros. En general, la acción es, precisamente, un movimiento que conexiona un acontecimiento con otros a través de una serie de acontecimientos intermedios. La naturaleza física de la acción puede ser en extremo diversa; podemos imaginárnosla como propagación de la luz, como lanzamiento de partículas, etc. Evidentemente, no ha de ser directa de manera obligada, sino que puede realizarse a través de varios agentes. El movimiento mismo de un cuerpo pequeño constituye una serie de acontecimientos en la cual los acontecimientos precedentes actúan sobre los subsiguientes. En conceptos de física, la acción puede definirse como transmisión del impulso y de la energía. Estos conceptos aparecen en este caso como iniciales, lo que responde a la esencia de la cuestión, dado que el impulso-energía constituye la característica física fundamental del movimiento y de la acción. Pero cuando en los acontecimientos mismos hacemos abstracción de sus propiedades concretas, también nos abstraemos, en el concepto de acción, de sus propiedades concretas excepto de que dicho concepto es una relación entre acontecimientos y posee las propiedades de la relación general de precedencia (antisimetría y transitividad). Si concebimos axiomáticamente la construcción de la teoría espacio-tiempo,

los conceptos de acontecimiento —punto mundial y de acción— precedencia se tomarán como conceptos de partida y no sujetos a definición. Los acontecimientos que están sometidos a la acción de un acontecimiento dado *A* forman la "zona de acción del acontecimiento *A*". Tales zonas determinan cierta estructura en el conjunto de todos los acontecimientos. Dicha estructura es equivalente, desde luego, a la estructura que se halla determinada por las mismas relaciones de la acción. Y ésa es, precisamente, la estructura espacio-temporal del mundo. Dicho de otro modo, el mismo espacio-tiempo puede definirse como sigue:

El espacio-tiempo es el conjunto de todos los acontecimientos del mundo, abstracción hecha de todas sus propiedades menos de aquellas que están determinadas por las relaciones de la acción de unos acontecimientos sobre otros.

La acción de un acontecimiento sobre otro es la forma elemental de la conexión causal, es como su "átomo" o su "cuanto" exactamente igual a como el acontecimiento mismo es un fenómeno "elemental". De ahí que lo que acabamos de decir pueda expresarse no menos exactamente, aunque sí de manera más expresiva mediante las palabras siguientes: *la estructura espacio-temporal del mundo no es otra cosa que su estructura de causa-efecto tomada sólo en la correspondiente abstracción.* Dicha abstracción consiste en hacer caso omiso de todas las propiedades de los fenómenos y de sus nexos causales excepción hecha de que los fenómenos se componen de acontecimientos y sus influjos recíprocos, de las acciones de unos acontecimientos sobre otros.

El que la definición enunciada de espacio-tiempo es realmente posible en el marco de la teoría de la relatividad se demuestra de manera puramente matemática[24]. Las relaciones de acción sin incluir propiedades de ninguna clase (ni siquiera de continuidad) determinan realmente, en la teoría especial de la relatividad, el espacio cuatridimensional de Minkowski. El espacio-tiempo de la teoría general de la relatividad requiere aún, para su definición, cierto complemento que puede formularse como fijación local de algunas dimensiones (de pares de acontecimientos infinitamente próximos a los que se asigna una determinada magnitud de intervalo entre ellos).

Esta definición de espacio-tiempo no constituye otra cosa que la expresión, concreta y exacta, correspondiente a la física moderna, de que el espacio-tiempo es la forma de existencia de la materia. La materia misma en su movimiento y, con ello, en interacción con sus elementos, es lo que determina su forma espacio-temporal. Tal definición no resulta posible en el ámbito de las representaciones de la física clásica. En ésta se consideraba que las acciones pueden transmitirse con una velocidad arbitraria. En consecuencia, la zona de la acción posible de un acontecimiento dado se extiende, en principio

(24) *A. D. Alexándrov*, "A Contribution to Chronogeometry". "Canadian Journal of Mathematics", 1967, vol. XIX, N 06, p. 1119-1128.

a todos los acontecimientos que le siguen en el tiempo. El resultado es que la relación de acción no determina nada si no es la mera sucesión en el tiempo. A ello es a lo que responden las nociones clásicas de sucesión absoluta en el tiempo y de simultaneidad absoluta. En cuanto a la determinación cuantitativa del tiempo t y a la geometría del espacio, han de definirse con alguna otra cosa. Es más, no se conoce ninguna definición de tiempo y de espacio que responda a las representaciones de la física clásica y que sea tan breve y precisa como la que hemos dado de espacio-tiempo. Ya el hecho mismo de que esta definición sea posible constituye una enorme ventaja de la teoría de la relatividad y pone de manifiesto hasta qué punto esta teoría ha penetrado en la comprensión de las formas básicas del mundo.

El sistema de relaciones de la acción, al determinar el espacio-tiempo, determina con ello mismo todos los tiempos y todos los espacios relativos posibles con su geometría. Como es natural la determinación se da inicialmente para el espacio-tiempo, es decir, para la forma absoluta del mundo, y no para el espacio y el tiempo por separado, ya que éstos no son más que aspectos relativos de dicha forma. Brevemente y sin entrar en aclaraciones detalladas, cabe decir que el espacio es un conjunto de una serie paralela de acontecimientos conexionados por la acción. Porque un punto en el espacio no es algo elemental; se halla determinado, hablando simplemente, por una serie de acontecimientos que transcurren en el lugar dado; más exactamente, el mismo "lugar dado" se fija por medio de esta serie de acontecimientos. Como es natural, la relación entre distintos puntos del espacio, su geometría, está determinada por la relación espacio-tiempo, o sea, por las relaciones de la acción. El tiempo en un lugar dado puede definirse, a su vez, como una serie de acontecimientos que fijan ese lugar a condición de que hagamos abstracción de todas las propiedades de los acontecimientos de referencia aparte las que están determinadas por todas esas mismas relaciones de la acción, pero, claro está, no sólo en el interior de la serie dada de acontecimientos, sino por el conjunto de las relaciones de la acción a que éstos se hallan sometidos y que ellos mismos ejercen. También son las relaciones de la acción las que determinan la concordancia de los diversos tiempos locales y, con ellos mismos, un tiempo relativo cualquiera extendido a todo el mundo. (Indicaremos, dicho sea de paso, que aquí se aclara el fundamento general de la definición einsteiniana de simultaneidad. Se demuestra que toda definición de simultaneidad —definición subordinada a las exigencias naturales de simetría y de transitividad, y apoyada sólo en las relaciones de la acción tomada en su estructura general— resulta de modo necesario equivalente a la de Einstein. Esto sólo concierne, claro está, al espacio-tiempo de la teoría especial de la relatividad, pues en la teoría general, la definición einsteiniana no puede aplicarse).

Nuestra definición del espacio-tiempo puede tomarse como base para construir la teoría de la relatividad. Para ello es necesario, desde luego, aplicar las correspondientes exigencias a la estructura de las relaciones de la acción o, cosa equivalente, a la estructura de

las zonas de la acción. Pero aquí no vamos a detenernos a examinar este punto.

Volviendo a lo dicho al comienzo del artículo, podemos indicar que en la definición dada de espacio-tiempo y en la definición que después se formula del espacio con su geometría, está contenida la respuesta a la pregunta de Riemann sobre las causas que engendran las relaciones métricas en el espacio. Dichas causas se hallan contenidas en la existencia misma de la conexión causal de los fenómenos. Las relaciones de acción, que determinan la estructura del espacio-tiempo, determinan asimismo, junto con ella, la geometría: la métrica del espacio.

De este modo la teoría de la relatividad ha dado respuesta a las preguntas, tan profundas, que sus predecesores formularon sobre la naturaleza del espacio y del tiempo, sobre los fundamentos de las propiedades métricas del espacio, sobre la conexión de las propiedades del espacio y del tiempo con las propiedades de la materia misma, sobre la naturaleza de la gravitación universal, y otras. Mas la profunda comprensión de esa teoría misma y de las respuestas que da a las preguntas citadas sólo se logra tomando como guía las ideas generales que desarrolló Lenin. Demostrarlo ha sido precisamente nuestro objetivo.

V. A. AMBARTSUMIÁN
Académico

V. V. KAZIUTINSKI
Candidato a Doctor en ciencias filosóficas

LA DIALÉCTICA Y LA ASTRONOMÍA CONTEMPORÁNEA

En la astronomía del siglo XX se está produciendo una revolución grandiosa, tal vez comparable por su alcance a la copernicana. Su raíz está en el descubrimiento de objetos de tipo cualitativamente nuevo en el universo: núcleos activos de las galaxias, de las fuentes de irradiación cuasiestelares (quasars) y otros. Los fenómenos que se registran en estos cuerpos cósmicos han resultado ser totalmente insólitos y han exigido una revisión a fondo de muchas representaciones y teorías astrofísicas, cosmogónicas y cosmológicas, a la vez que han puesto en duda la universalidad de las leyes fundamentales de la física hoy en día conocidas. No está excluido que el estudio del universo conduzca, en un futuro no lejano, a una nueva revolución en todo el sistema del saber en física.

Han contribuido poderosísimamente a que se llegara a comprender la esencia de los procesos que se dan en la astronomía contemporánea, las ideas del materialismo dialéctico desarrolladas por Lenin en sus trabajos *Materialismo y empiriocriticismo* y *Cuadernos filosóficos*. Siguiendo estas ideas, la ciencia no sólo ha logrado analizar los problemas filosóficos más complejos que la astronomía contemporánea plantea, sino que, además, ha podido idear varias representaciones nuevas por principio sobre la estructura y evolución del universo.

Sobre el carácter "insólito" de los descubrimientos de la astronomía en el siglo XX

Como indicó Lenin, la nota característica del desenvolvimiento de la física a comienzos del siglo XX fue el paso de lo habitual a lo inhabitual, a lo "insólito", a lo imposible desde el punto de vista del

denominado sentido común. La misma particularidad se observa netamente en la astronomía actual.

Hasta principios del siglo XX, la zona del universo al alcance de nuestra observación se limitaba al sistema solar y a nuestro sistema estelar, la galaxia, cuya estructura se había estudiado tan solo en los alrededores más próximos del Sol. Los astrónomos se encontraban con objetos conocidos hacía ya por lo menos tres mil años: planetas, estrellas, materia gaseoso-pulverulenta. La atención se centraba, sobre todo, en el estudio de la distribución espacial y del movimiento de estos objetos basándose en la mecánica clásica, newtoniana.

Las premisas gnoseológicas en que se apoyaba la astronomía de aquel entonces consistía en lo que sigue. Fuera e independientemente de la conciencia del sujeto, existe la realidad objetiva, la materia; esta realidad se refleja y se copia en los conceptos científicos y en las teorías, con la particularidad de que es alcanzable el ideal clásico del saber: el conocimiento adecuado y absoluto de la realidad objetiva, a modo de imagen física del mundo, la única posible y, por ende, definitiva, fundada en la mecánica newtoniana. En el cuadro de esta imagen del mundo puede construirse un modelo mecánico evidente de cualquier objeto, fenómeno y proceso.

Se estimaba que las ciencias naturales, en principio, estaban en condiciones de estudiar "toda la materia", es decir, "todo cuanto existe" en cierto sentido absoluto. Así se formulaba, precisamente, la tarea de la cosmología, cuyo objeto —el universo como una entidad— se identificaba con todo el mundo material. El universo como totalidad se concebía como un sistema mecánico, ilimitado en el espacio, infinito en el tiempo, y estático, invariable.

El progreso de la astronomía contemporánea ha demostrado que la sencilla y habitual imagen del universo que la astronomía creó en los siglos XVII-XIX dista mucho de corresponder a la realidad en muchos aspectos. Ello ha planteado varios problemas gnoseológicos difíciles. La formación de la cosmología relativista, con sus desacostumbradas representaciones sobre la curvatura del espacio, imposible de imaginar claramente, como si se estuviera viendo, sobre el carácter no estacionario del universo, sujeto a expansión a partir de cierto momento cero del tiempo cuando, según la teoría de A. Friedman, el universo estaba concentrado en un punto, etc., puede parecer todavía más "insólita" que en su tiempo el descubrimiento de la destructibilidad del átomo. Resultaba inhabitual para la mayor parte de los astrónomos el método mismo de la hipótesis matemática con la que se construyó la teoría del "universo en expansión". Dicho método se orienta, como es notorio, hacia la búsqueda del "esqueleto" matemático de la teoría que sólo después recibe una interpretación física concreta.

En 1965 un grupo de radiofísicos norteamericanos descubrió la denominada radiación relicta, que tal vez surgió con motivo de una formación explosiva de la Metagalaxia.

En astrofísica y en cosmogonía, a la vez que se idean medios empíricos cada vez más "sagaces" para el estudio del universo, se incre-

menta la función de los recursos de investigación teórica, en particular de la matemática y de la física teórica. Se ha comprendido, además, la dependencia en que se encuentran determinadas deducciones concretas de la astrofísica y de la cosmogonía respecto al sistema existente del conocimiento físico. El cambio de las representaciones teóricas en física, y los nuevos datos empíricos de la física de laboratorio han llevado, inevitablemente, a la revisión de las ideas astrofísicas y cosmogónicas, incluidas algunas, también, consideradas casi como verdades eternas que requerían sólo una puntualización de detalle.

Para los partidarios de la física tradicional eran inusitados e "imposibles" los descubrimientos realizados en los últimos años, de objetos no estacionarios (inestables) en el universo.

Han resultado ser eminentemente inestables algunas fases del desarrollo de las galaxias. Por ejemplo, en las radiogalaxias acontecen procesos poderosísimos de liberación de energía como resultado de explosiones en sus núcleos. El descubrimiento que los astrónomos norteamericanos A. Sandage y K. Linds (1963) hicieron de una explosión análoga en una de las galaxias más próximas constituyó una auténtica sensación. Todavía representan un fenómeno más grandioso las fuentes de irradiación cuasiestelares (quasers) que en 1963 descubrieron los astrónomos norteamericanos M. Schmidt, J Greenstein y T. Mathews. Cuando se producen explosiones en los núcleos de las galaxias se libera una energía del orden de los 10^{59} - 10^{60} *erg*. También se ha descubierto que junto a los grupos cuasiestables y cúmulos de galaxias existen muchos grupos y cúmulos inestables de galaxias que, en su expansión, se desintegran con bastante rapidez; han debido surgir en tiempos relativamente próximos. El fenómeno de la expansión de las asociaciones de estrellas, de varios grupos y cúmulos de galaxias ha permitido descubrir una ley importantísima de los procesos cosmogónicos: los objetos cósmicos —tanto las estrellas como las galaxias— en el momento de su formación reciben una extraordinaria energía cinética, lo cual, en muchos casos, lleva a la dispersión de los grupos correspondientes.

Estos descubrimientos han minado definitivamente el dogma imperante a lo largo de muchos siglos sobre el carácter suave y gradual de la evolución cósmica. Han conducido a la conclusión de que la idea de una "gran explosión", origen del universo que nos es dable observar, es insuficiente y ha tenido que completarse con la noción de un gran número de explosiones ocurridas en distintos lugares y en distinto tiempo.

Se han hecho tentativas para interpretar en el sentido del idealismo subjetivo y del idealismo objetivo las conclusiones de la astronomía contemporánea. Las interpretaciones de carácter idealista subjetivo son fruto de las mismas causas gnoseológicas que originaron, como puso de relieve Lenin, la aparición del idealismo "físico": 1) el incremento de la matemática en la descripción de la naturaleza; 2) la atribución de un valor absoluto al principio del relativismo, a la relatividad de nuestros conocimientos. Se han presentado, concre-

tamente, las siguientes afirmaciones: dado que la matemática, y en particular el método de la hipótesis matemática, permite establecer las peculiaridades esenciales de la imagen astronómica del universo, en el proceso del conocer el sujeto "impone" a la naturaleza una serie de leyes matemáticas complejas. Y el cambio de representaciones, hipótesis y teorías que se produce en astronomía es una prueba, a juicio de los idealistas subjetivos, de que las conclusiones de esta ciencia no atañen a la realidad objetiva. La causa gnoseológica de las especulaciones de los idealistas objetivos en torno a la astronomía contemporánea, es otra. Éstos se fundan en lo que tienen de inesperado, de "insólito" y de inconcreto las nuevas representaciones astronómicas. Han procurado presentar este hecho como demostración del carácter sobrenatural del universo. Y la existencia del momento del tiempo $t = 0$ en la teoría del "universo en expansión" la han considerado como una indiscutible "demostración científica" del acto de la creación del mundo material, que resulta secundario en relación con el "espíritu mundial".

El materialismo dialéctico, única filosofía adecuada al desarrollo actual de las ciencias de la naturaleza, incluida la astronomía, ha puesto en evidencia la falta de base de las "conclusiones" de ese tipo. Una de las tesis gnoseológicas fundamentales del materialismo dialéctico es la de que el conocimiento, que posee un carácter activo, refleja la realidad objetiva, con la particularidad de que a medida que la ciencia progresa los conocimientos van siendo más exactos y más adecuados a los diversos aspectos del mundo objetivo.

Si se habla del peso de la matemática en el estudio del universo, resulta a todas luces claro que la necesidad de recurrir a un instrumental matemático cada vez más potente y complejo es precisamente una consecuencia de la creciente diversidad de nuevos fenómenos que se descubren en astronomía y de que se impone, en consecuencia, la necesidad de generalizar los resultados obtenidos en las observaciones astronómicas. La teoría matemática de cualquier fenómeno que la astronomía estudie, por abstracta que parezca, constituye en última instancia una *generalización* de determinados datos empíricos. De esta suerte, la matemática, en astronomía, es ante todo un instrumento para la investigación de fenómenos reales.

Tenemos, además, que al emprender experimentos y observaciones cada vez más sutiles, en cierto modo formulamos a la naturaleza un número cada vez mayor de preguntas cuya orientación depende tanto del círculo de intereses del sujeto como del sistema de conocimientos existente. De esta suerte una cantidad innumerable de experimentos se realizan para responder "sí" o "no" a la predicción de tal o cual teoría. No hay duda de que semejante orientación de las preguntas hechas a la naturaleza ha de ejercer también cierta influencia sobre el carácter de las representaciones generales que sobre aquélla se tengan, compuestas en función de las respuestas obtenidas. Sin embargo, se sabe muy bien que en el proceso de los experimentos y de las observaciones, la naturaleza por su parte plantea al sujeto un número cada vez mayor de preguntas, a menudo sumamente ines-

peradas. Por ejemplo, el astrofísico que estudia la estructura de las galaxias lejanas se interesa por saber de qué tipos de estrellas, que nos son bien conocidas en nuestra galaxia, se componen. Y he aquí que al realizar estas observaciones, se descubren explosiones supernuevas, con lo que no sólo se descubre un nuevo tipo de "población" estelar, sino, además, nuevos procesos de liberación de cantidades gigantescas de energía en el cosmos, el análisis de cuya naturaleza representa ya un problema totalmente nuevo.

Sucede también que a nuestras preguntas bastante inconcretas, la naturaleza responde con otras preguntas muy definidas, pero difíciles. Así, cuando los astrónomos empezaron a observar con los radiotelescopios las líneas monocromáticas del hidróxilo para elucidar la distribución espacial de las moléculas de *OH* en la materia interestelar, se encontraron ya al dar los primeros pasos con fuentes sumamente compactas que emitían ondas radioeléctricas en las mismas líneas espectrales, y de este modo surgió inesperadamente el problema, muy interesante y difícil, de la naturaleza de estos objetos. Precisamente los casos en que la naturaleza ha dado respuestas que el investigador no esperaba o ha planteado ella misma problemas todavía más inesperados han constituido el mayor estímulo para el progreso científico.

Lo inesperado y lo "insólito" de los descubrimientos más importantes de la astronomía del siglo XX prueban la inconsistencia de las interpretaciones idealistas subjetivas de sus resultados. En esencia, nos dice lo mismo el hecho de que muchos de ellos no resulten evidentes. Porque la evidencia está ligada a las peculiaridades y condiciones del conocimiento del mundo circundante por parte del hombre. Ahora bien, los fenómenos que se estudian existen independientemente de nuestra conciencia, motivo por el cual no están obligados, ni mucho menos, a transcurrir de manera clara y evidente desde el punto de vista nuestro, humano.

Pero, lo inesperado e "insólito" de los fenómenos que la astronomía moderna ha descubierto, ¿puede ser una prueba de que tienen un carácter "sobrenatural"? Para responder a semejante pregunta bastará recordar que muchos hechos científicos y teorías pudieron parecer en su tiempo sobrenaturales y engendrados en última instancia por un factor no material. Sin embargo, a medida que las ciencias naturales han ido progresando, los idealistas objetivos se han visto obligados a transferir las representaciones de los factores de ese género a nuevos objetos del conocimiento relativamente poco investigados; los fenómenos que se habían utilizado para toda clase de especulaciones místicas resultaban de hecho subordinados tan solo a leyes naturales. Está fuera de toda duda que una suerte análoga espera asimismo a toda la argumentación actual de ese tipo.

En cuanto a las conclusiones creacionistas hechas a partir de la teoría del "universo en expansión" carecen, como es obvio, de toda relación con el contenido físico de esta teoría y son un resultado de identificar el "universo de Friedman" —la Metagalaxia— con "toda la materia". No obstante, en las ciencias de la naturaleza, son siempre

objeto del conocimiento tan solo partes, aspectos y fragmentos del inagotable mundo material delimitados por el sujeto en su quehacer práctico histórico-social. Cierto, el objeto de investigación de las ciencias naturales en conjunto y de cada una de ellas en particular, se amplía cada día más, y nuestros conocimientos acerca de la naturaleza son cada día más adecuados a la misma, pero esto no modifica el hecho de que en cada momento dado las ciencias naturales sólo tratan de aspectos individuales de aquella parte de la realidad objetiva delimitada por los recursos empíricos y teóricos de que en cada caso el hombre dispone. En este sentido, la cosmología no ocupa ninguna posición especial entre las demás ciencias naturales: no es ahora ni será nunca objeto suyo "toda la materia" (el mundo material como totalidad). No está justificado ni siquiera el planteamiento de semejante problema.

Los diversos "modelos del universo", que pueden construirse teóricamente en cosmología, en esencia son modelos de sistemas que plasman de manera concreta la diversidad de condiciones físicas, de fenómenos, interacciones, objetos y dimensiones que una determinada teoría cosmológica admite (es decir, de "todo cuanto existe" desde el punto de vista de la teoría en cuestión). En principio, tales sistemas pueden identificarse no ya con la Metagalaxia, sino, además, con los sistemas físicos de grandes dimensiones (o hasta de gran orden), que incluyen en calidad de sus partes tanto nuestra metagalaxia como otras posibles metagalaxias que por ahora desconocemos.

Los datos de la astrofísica contemporánea no excluyen la hipótesis de que existan otras metagalaxias. Mas por ahora no sabemos nada ni acerca de ellas ni acerca de sus conexiones e interacciones con la nuestra. Ello no obstante, ahora en varias teorías cosmológicas se supone la existencia de sistemas que incluyen no uno, sino muchos mundos (y hasta antimundos). O sea que al hablar del universo como objeto de la cosmología no nos referimos en todos los casos a un mismo objeto físico. A los modelos de universo construidos a partir de diferentes teorías cosmológicas pueden corresponder también diferentes "originales".

Las afirmaciones de que la cosmología en una etapa dada de su desenvolvimiento podrá llegar a describir el "aspecto físico" del mundo material en su conjunto (de todo lo existente en cierto sentido definitivo y absoluto) o, más aún, de que estamos llegando ya a semejante etapa, son consecuencia de asignar un valor absoluto a un nivel determinado —necesariamente limitado— del saber. Ninguna de las tentativas de ese tipo llevadas a cabo en otros tiempos se vio coronada por el éxito, y a medida que las ciencias naturales progresan se afirma y se ahonda más y más la tesis leninista de que el mundo material es inagotable. Si se demuestra que existen "universos" de orden superior al de nuestra metagalaxia también será necesario considerarlos no como "todo lo existente", sino tan solo como algo que corresponde a la nueva fase de investigación del mundo material, al que no agota ni siquiera en algunos de sus rasgos fundamentales.

Por consiguiente, el universo como objeto de la cosmología es

un aspecto íntegro de "todo lo existente" *conforme a un determinado nivel de la práctica del hombre.* Lo que hoy consideramos "inexistente" puede entrar mañana en la esfera del hacer humano; de esta suerte resultará existente y se incluirá en nuestra representación del universo.

Son erróneas, por tanto, las afirmaciones de que la cosmología se ocupa ahora de investigar la evolución de "toda la materia", del "mundo material como un todo". A su vez, esto significa que el "momento inicial" de la evolución de la metagalaxia no constituye ningún "comienzo de todo" absoluto, sino el momento de la aparición de la protomateria, de la cual se formaron luego las formas de la materia que nos son conocidas.

Vemos, pues, que el actual desarrollo de la astronomía, lo mismo que de todas las ciencias naturales, sirve de admirable confirmación de los principios epistemológicos del materialismo dialéctico. Ahora, como antes, las deducciones de la astronomía describen la realidad objetiva —más exactamente, determinadas partes de esta realidad— que existe al margen e independientemente del sujeto. Mas la naturaleza es inconmensurablemente más rica que la representación que de ella nos formemos en cualquier momento dado, y nos obliga porfiadamente a renunciar a las viejas representaciones e introducir otras nuevas, que la experiencia nos sugiere. En este sentido, por "insólitos" que parezcan los datos actuales sobre el universo considerados desde el punto de vista del desarrollo anterior de la astronomía, se les pueden aplicar sin la menor reserva las palabras de Lenin sobre los descubrimientos fuera de lo corriente y al parecer "extraños" hechos en la física del micromundo: "Todo ello no hace más que *confirmar* una vez más el materialismo dialéctico"[1].

El principio de la unidad del mundo y el principio del desarrollo en la astronomía contemporánea

Toda la variedad de métodos para el estudio del universo se apoya, en última instancia, en dos principios filosóficos cardinales: el principio de la unidad del mundo y el principio del desarrollo.

Huelga decir que estos principios no se aplican en astronomía (ni en las otras ciencias naturales) en la forma filosófica general en que se hace abstracción de todo contenido concreto. Se modifican en correspondencia con las peculiaridades de los objetos que se estudian. El primero de los principios citados sirve de fundamento a la posibilidad, necesidad y legitimidad de extrapolar las leyes y teorías de la física a diversos objetos cósmicos; el segundo, en cambio, requiere que se examinen evolutivamente esos objetos, cuya estructura resulta condicionada por su origen y por su evolución.

En la astronomía de los siglos XVII-XIX, la estructura de los sistemas cósmicos se estudiaba sin relación con el desarrollo de los

---

(1) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 276. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 289).

mismos, a la vez que la cosmología, aislada en sensible medida de las otras secciones de la astronomía, partía fundamentalmente de suposiciones especulativas, y sus conclusiones eran hipotéticas y en extremo imprecisas. Todo eso se explicaba por las dificultades específicas que presenta el estudio de los fenómenos cosmogónicos y por la carencia, en aquel entonces, de una suficiente cantidad de datos empíricos acerca de los procesos de cambio en el universo, así como de los posibles estados pasados y futuros de los sistemas cósmicos.

La unidad del mundo se reducía, en el fondo, a afirmar la universalidad de las leyes de la mecánica clásica, su aplicabilidad a los objetos, cualesquiera que fuesen, del universo y a éste considerado como un todo (a "toda la materia"), la homogeneidad de los fenómenos en las diversas partes del universo. Algunos astrónomos sostenían incluso la idea de que es idéntica la estructura de los sistemas cósmicos de distintos órdenes. La idea de desarrollo, en astronomía tomó inicialmente la forma de evolucionismo mecánico. De acuerdo con una tradición que se remontaba a las doctrinas de los filósofos de la Antigüedad clásica, se admitía que los cuerpos cósmicos y sus sistemas habían surgido por condensación de una substancia enrarecida, que todos los estados subsiguientes de dichos cuerpos y sistemas habían sido casi estacionarios y que su evolución consistía en una lenta y suave transición de un estado estacionario a otro. La forma concreta que inicialmente tomaron las ideas de unidad y desarrollo del mundo, forma limitada por el nivel de su tiempo, determinó tanto la manera general de abordar el estudio del universo como, en final de cuentas, las conclusiones teóricas acerca de la estructura y la evolución del universo obtenidas con tal perspectiva.

El vigoroso progreso de la astronomía durante los últimos decenios ha demostrado la limitación de las anteriores ideas sobre el universo y ha exigido una revisión a fondo de la metodología asentada en los principios mecanicistas.

El análisis de una cantidad enorme de datos, mayor de día en día, acerca de los sistemas cósmicos ha llevado a la conclusión de que existe una diversidad cualitativa inmensa de condiciones y fenómenos físicos en el universo a los que es imposible embutir en los estrechos marcos mecanicistas. Al mismo tiempo, el estudio de los fenómenos no estacionarios en el universo ha puesto en claro que únicamente cabe estudiar a fondo la estructura de los objetos cósmicos si se tiene en cuenta su evolución, determinante de los rasgos más característicos de los objetos indicados en su estado presente.

La descripción de muchos fenómenos nuevos descubiertos por la astrofísica contemporánea, se ha obtenido partiendo de nuevas teorías físicas fundamentales: la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad. Ha surgido la tentación de considerar dichas teorías como capaces de describir incluso el conjunto de los fenómenos astrofísicos, tanto de los ya conocidos como de los no descubiertos todavía, dado que los cuerpos celestes se componen de las mismas partículas elementales de que trata la física de la Tierra. De este modo se repite en esencia la vieja historia: se ha empezado a creer que el infinito

número de fenómenos de la naturaleza puede describirse partiendo de un número limitado de teorías físicas fundamentales, esta vez teorías de la física contemporánea. Los partidarios de semejantes concepciones estiman que los fenómenos, por ejemplo, en el mundo de las galaxias no representan nada cualitativamente nuevo en comparación con los fenómenos que se producen en sistemas de menor escala. De ahí se infiere, en particular, que en el ámbito de las modernas leyes y teorías físicas también pueden obtener una interpretación todos los estadios de los procesos cosmogónicos, aunque sean los que atañen al origen y desarrollo de los planetas, estrellas, galaxias e incluso de la metagalaxia.

Mas, en la astronomía contemporánea se ha formulado una concepción completamente distinta de la unidad y del devenir del mundo. Su esencia estriba en que a cada nivel del mundo material le corresponden sus propias leyes estructurales y evolutivas. Aunque los objetos cósmicos se componen de las mismas partículas elementales con que se encuentra la física de la Tierra, en el cosmos pueden adquirir valor propiedades "íntimas" de dichas partículas que en las condiciones terrenas resultan poco perceptibles o no se ponen de manifiesto en absoluto. Las teorías físicas fundamentales, tanto las ya conocidas como también las que todavía la física ha de crear, en principio pueden tener solamente una limitada área de aplicabilidad, es decir, son universales sólo en relación con un determinado círculo de fenómenos. Por consiguiente, debemos tener en cuenta la posibilidad (y la necesidad) de su revisión —puntualizándolas y generalizándolas— a medida que se vayan estudiando nuevas y nuevas áreas del mundo material. Esto no excluye de ningún modo que nunca sea posible agotar por completo las posibilidades de las "viejas" teorías ya existentes: en ellas se encierran todavía "sorpresas" en gran número. Sin embargo, el ulterior progreso de la física y de la astronomía estará vinculado, desde ese punto de vista, a la formulación de teorías fundamentales de un grado de generalidad cada vez mayor. Dicho con otras palabras: el principio de la unidad del mundo ha de entenderse dialécticamente. Se trata de una unidad concatenada con la variedad infinita del mundo material. La idea de que la infinita variedad de los fenómenos que la astrofísica estudia ahora o podrá estudiar en el futuro puede describirse mediante una limitada cantidad de leyes y teorías físicas fundamentales, es insuficiente. Ha de considerarse más fecunda la idea de la diversidad de la naturaleza también en el nivel de las leyes.

Está claro asimismo que las leyes a que obedece el desarrollo del objeto en cualquier nivel estructural de la organización de la materia pueden hallarse condicionadas por factores poco apreciables cuando se examinan situaciones estacionarias y equilibradas del objeto, de suerte que es necesario prestar especial atención a la búsqueda y al estudio de estados de desequilibrio de los cuerpos cósmicos, en los que se producen cambios relativamente rápidos.

Las diferencias que se registran en la astronomía contemporánea respecto a la interpretación de los principios de unidad y desarrollo del mundo han llevado a elaborar también procedimientos metodoló-

gicos sumamente distintos para el estudio del universo y, en última instancia, a elaborar teorías cosmológicas, astrofísicas y cosmogónicas opuestas por su contenido.

En cosmología, el primero de los procedimientos metodológicos aludidos consiste en construir diferentes "modelos del universo" homogéneos e isótropos correspondientes a diferentes soluciones particulares dadas a las ecuaciones de la teoría general de la relatividad, y en estudiar la conducta de dichos modelos en el tiempo. Luego éstos se comparan con las observaciones y se puntualizan teniendo en cuenta los nuevos datos fácticos.

Hay quien cree que los modelos cosmológicos relativistas aparecieron inicialmente como producto de un puro "juego de la mente", con independencia total de datos empíricos de toda clase, y sólo después hallaron "justificación" empírica. Semejante opinión es en todo caso inexacta. La aplicación del método de la hipótesis matemática en cosmología —como en el conocimiento físico en general— no exime en absoluto de recurrir a los datos empíricos, y de ningún modo sólo "en última instancia", para el "control" de la corrección de la teoría. El propio Einstein subrayó reiteradamente que la cosmología relativista surgió como tentativa encaminada a armonizar la teoría general de la relatividad con una serie de hechos y de hipótesis derivadas de la observación.

El hecho importantísimo de que partió era el de que en la teoría newtoniana del universo habían aparecido varias paradojas desagradables que no había manera de superar en el marco de dicha teoría. Por consiguiente, la aplicación de la teoría relativista en la cosmología no sólo estaba justificada, sino que era inevitable. Observó Einstein, además, que la densidad media de la materia en el espacio no era igual a cero, lo cual llevaba a plantear la siguiente cuestión: ¿es posible concordar con la teoría general de la relatividad esa hipótesis que la experiencia sugiere? La distribución de las estrellas en el espacio le parecía, a Einstein, homogénea. En ello se basaba Einstein para considerar la estructura del universo, hipotéticamente, como homogénea e isótropa (la materia está distribuida en el espacio de manera continua, con una densidad media constante; sus propiedades y su conducta en cada momento dado son iguales en todos los puntos y en todas las direcciones). Esta hipótesis, denominada más tarde principio o postulado cosmológico, permite simplificar en gran manera el cálculo, dado que un continuo único espacio-temporal se escinde en el habitual espacio de tres dimensiones y en el tiempo cósmico universal.

Finalmente, el hecho empírico de la insignificancia de las velocidades de las estrellas en comparación con la velocidad de la luz fue lo que indujo a Einstein a modificar las ecuaciones cosmológicas introduciendo en ellas una constante especial (el denominado término Λ), cuya necesidad no se desprendía de la teoría; la única misión de dicha constante estribaba inicialmente en hacer estático el universo. Por lo visto, Einstein al comienzo no conocía los trabajos de V. Slipher sobre el "desplazamiento al rojo" en los espectros de las "nebulosas" que resultaron ser otras galaxias. En estos trabajos, llevados a cabo

ya en 1912-1914, se descubrió que las líneas de los espectros de muchas "nebulosas", cuya naturaleza era entonces objeto de vivas discusiones, se hallaban desplazadas hacia el extremo rojo en comparación con su posición normal. A comienzos de la tercera década del siglo, el "desplazamiento al rojo" se había medido ya en decenas de "nebulosas".

La explicación más natural de ese fenómeno era la basada en el efecto Doppler. De ello se deducía que las "nebulosas" se alejan de nosotros a velocidades bastante elevadas: las mayores llegaban aproximadamente a los 1000 *km/seg*. En 1924-1926, E. Hubble demostró que constituyen sistemas estelares parecidos a nuestra galaxia pertenecientes a un sistema estelar de orden todavía más elevado: a una metagalaxia. En 1929, E. Hubble y M. Hewmason establecieron que el "desplazamiento al rojo" es aproximadamente proporcional a las distancias de las galaxias respecto a nosotros. Posteriormente, la existencia del "desplazamiento al rojo" y su proporcionalidad aproximada a la distancia se comprobaron respecto a muchos centenares de galaxias y otros objetos extragalácticos. La mayor de todas las velocidades de alejamiento hasta ahora descubiertas supera ya los 240.000 *km/seg*., es decir, ¡es de 0,8 de la velocidad de la luz!

Cuando se elaboraba la cosmología relativista (1917), sólo un reducido círculo de astrónomos conocían los trabajos de Slipher. Pero antes ya de que se creara la teoría del "universo en expansión", Einstein examinó reiteradamente trabajos que contenían referencias a las conclusiones de V. Slipher. Cabe sólo suponer que teniendo ya noticia del efecto del "desplazamiento al rojo" en los espectros de las "nebulosas", Einstein no les concedió demasiada importancia: en caso contrario, no habría habido bastantes fundamentos empíricos para procurar construir un modelo de universo precisamente estático.

A. Friedman[2], quien demostró en 1922-1924 que las soluciones de las ecuaciones de la teoría general de la relatividad son, hablando en general, no estacionarias (es decir, no son estacionarios los universos teóricos correspondientes a esas soluciones), partía en lo fundamental de la lógica interna del desarrollo de la misma cosmología relativista. Pero tampoco sus trabajos pueden considerarse puramente especulativos, dado que en ellos se utilizan los mismos datos fácticos que había analizado Einstein y que, en esencia, eran suficientes para llegar a la conclusión de que el universo no tenía un carácter estacionario. Según A. Friedman, la conducta de los "modelos del Universo", siendo $\Lambda = 0$, está determinada por cierto valor crítico de la densidad media de la materia: si la densidad en un momento dado es mayor que el valor crítico, el modelo se dilata y se contrae alternativamente (modelos oscilantes o pulsadores); en cambio, si la densidad es igual al valor crítico o es menor que él, el modelo se dilata ilimitadamente (modelos de dilatación monótona).

La conclusión de Friedman sobre el carácter no estacionario de

(2) Ver *A. A. Friedman*, "Sobre la curvatura del espacio; Sobre la posibilidad del mundo con una curvatura negativa constante; El mundo como espacio y tiempo". "Trabajos escogidos", Moscú, 1966.

los universos (mundos) teóricos por él examinados, de momento no llamó la atención. Y ello no sólo porque no se conocían bastante bien sus trabajos: incluso a quienes habían parado mientes en ellos esa conclusión les parecía demasiado insólita, necesitada, en todo caso, de seria confirmación. Pareció "sospechosa" incluso a Einstein, que más tarde, sin embargo, reconoció su error. En 1927, el matemático belga G. Lemaître concretó más la teoría de Friedman y llegó a la conclusión de que la materia que dio principio a la metagalaxia debía hallarse en un estado superdenso, constituyendo una especie de "átomo primitivo", con la particularidad de que el comienzo de la expansión tuvo un carácter explosivo[3].

La teoría cosmológica de A. Friedman representó, sin duda alguna, un serio paso adelante en comparación con la cosmología newtoniana. Las observaciones han confirmado las conclusiones que se desprenden de la teoría sobre la inestabilidad de la metagalaxia y, por lo visto, su origen explosivo. Ahora bien, la confirmación empírica de *algunas* consecuencias de la teoría de Friedman no significa, desde luego, que esté firmemente cimentada *toda* la teoría, incluidas las conjeturas e idealizaciones en ella admitidas. Los "modelos del universo" construidos sobre la base de la teoría de Friedman no son más que las primeras tentativas de describir matemáticamente la metagalaxia en expansión, simplificadas en extremo y por ahora poco fecundas todavía.

La insuficiencia de datos ha retardado hasta el último tiempo el desarrollo de la teoría general de la metagalaxia. Por ejemplo, las estimaciones empíricas de la densidad media de la masa en la metagalaxia todavía son extremadamente imprecisas. Algunas de ellas superan en un orden o en dos la densidad "crítica" (2.10^{29} g/cm^3.); otras, algo mejor fundamentadas, dan valores menores que la densidad "crítica"; y otras dan valores próximos a dicha densidad. Por esto entre los partidarios de la teoría del universo homogéneo isótropo existe discordancia de pareceres no ya acerca de cuál es el "modelo del universo" que se ha de preferir, sino, además, acerca de cuál es el tipo de modelos que corresponde en mayor medida a la realidad: el de expansión monótona o el oscilante.

A pesar de la impecabilidad formal de muchos "modelos de universo" homogéneos e isotrópicos, por una parte, y de la limitación de datos empíricos de que por ahora disponemos por otra parte, ya resulta claro que la conjetura de partida tomada para construir dichos modelos —el postulado cosmológico— está sumamente lejos de las condiciones que se dan en la metagalaxia real. Investigaciones llevadas a cabo durante los últimos decenios demuestran que no sólo está justificado y es de actualidad el examen de las soluciones más simples de las ecuaciones de la teoría general de la relatividad, vinculadas a la hipótesis de la homogeneidad y de la isotropía, sino, además, el de soluciones menos triviales, que realizan posibilidades más interesantes y, en algunos casos, más "extravagantes" que las admitidas por ta-

(3) *G. Lemaître*, "L'hypothèse de l'atome primitif". Neuchâtel, 1946.

les ecuaciones. Como resultado, se ha visto que muchas conclusiones de la teoría del "universo en expansión" no merecen ni mucho menos un crédito total. En particular el cálculo de las posibles desviaciones de la isotropía y de la homogeneidad pone de manifiesto que la expansión de la metagalaxia puede ser diferente en diversas áreas, con la particularidad de que la expansión de cierto volumen espacial en un área puede ir acompañada de su contracción en una zona contigua. De ello se sigue que ha de considerarse como una idealización excesiva e injustificada la expansión homogénea de la metagalaxia "desde un punto". Probablemente, el volumen de la metagalaxia en el "momento inicial", aunque relativamente pequeño, no era igual a cero, y la densidad inicial de la materia, aun siendo muy alta, no era ni mucho menos infinita.

El descubrimiento de la "radiación relicta", prevista a partir de la teoría de A. Friedman (si se confirma la interpretación que ahora se propone de dicha teoría) puede significar que en el pasado la densidad de la materia en la metagalaxia era mil millones de veces mayor que ahora. De momento, sin embargo, es imposible afirmar si era todavía mucho más considerable. Tendrán que indicárnoslo ulteriores observaciones.

Por otra parte, la noción de tiempo mundial unívoco (único) introducible en la teoría del universo homogéneo isótropo resulta aplicable en un marco limitado, muy estrecho, en la teoría del universo heterogéneo anisótropo (por ejemplo, en la variante que A. Zelmanov desarrolla). Esto significa que el concepto de estado en un momento dado del tiempo no es aplicable, en rigor, a la metagalaxia como un todo y que, por ende, no puede hablarse de la evolución de la metagalaxia como de un cambio sucesivo de sus estados. Finalmente, pueden aducirse datos empíricos ya bastante fundamentados que hablan de la extrema heterogeneidad de la distribución de la materia en la metagalaxia. Esto demuestra muy convincentemente que es necesario renunciar al postulado cosmológico por tratarse de una excesiva simplificación.

El ulterior desarrollo de la teoría de la estructura y de la evolución de la metagalaxia ha de seguir el cauce de una coordinación más estrecha con los resultados de las observaciones, cuya cantidad crece rápidamente. Cuando éstas nos proporcionen datos suficientemente detallados sobre la distribución y el movimiento de las masas en la metagalaxia será posible incluir, en las ecuaciones cosmológicas, no condiciones arbitrarias, sino reales, que correspondan al estado actual de la metagalaxia, y también podrá pensarse en otras ecuaciones más exactas.

Aún pueden observarse en la astrofísica y en la cosmogonía, de manera más clara, las dos maneras indicadas de enfocar el estudio del universo.

En la astrofísica, tomando por base los principios del primero de los procedimientos metodológicos indicados, se han elaborado numerosos modelos de la estructura interior de las estrellas de diferentes tipos. Estos modelos, basados en supuestos simplificados, si bien, al

parecer, bastante razonables, en varios casos pueden concordar —con mayor o menor éxito— con algunos de los datos conocidos sobre diversas características de las estrellas. Sin embargo, a pesar del trabajo, gigantesco por su volumen, llevado a cabo en esa dirección, partiendo de la teoría actual sobre la estructura interna de las estrellas, no se ha vaticinado ningún fenómeno nuevo, en el plano de los principios, descubierto más tarde por las observaciones, aunque la astrofísica se encuentra literalmente repleta de descubrimientos inesperados. Por otra parte, cuando se descubrían nuevos hechos, generalmente se lograba "concordarlos" con la teoría ideando hipótesis complementarias más o menos arbitrarias. Todo ello priva a los modelos de la estructura interior de las estrellas elaborados en la actualidad, de gran parte de su valor y habla de su insuficiencia. Todavía han resultado más serias las dificultades que han surgido al elaborar, según el procedimiento metodológico indicado, diversas hipótesis y teorías cosmogónicas (entre ellas, la que actualmente goza de mayor popularidad es la teoría fundada sobre todo en los trabajos de F. Hoyle, J. Oort y M. Schwarzschild[4].

Esto demuestra que ha de modificarse el modo de construir las teorías astrofísicas y cosmogónicas. Es necesario estudiar la estructura y la evolución de los objetos cósmicos *generalizando consecuentemente* los datos de la observación (tanto más cuanto que los resultados de las investigaciones resultan a cada paso cualitativamente nuevos, "inesperados" para nosotros). Sólo después de esto ha de plantearse el problema de elaborar su teoría.

Primero hay que establecer, con suficiente grado de seguridad, *qué* sucede en los procesos de la evolución cósmica, tarea de por sí muy compleja y laboriosa, que exige, a veces, mucho tiempo. Merecen especial atención los datos empíricos en que las "huellas" de los procesos cosmogónicos se revelan con mayor nitidez.

Se trata, en primer lugar, de objetos no estacionarios cuyo papel importantísimo en la evolución cósmica lo apuntó ya la concepción materialista dialéctica del desarrollo. Sabido es que Lenin, al caracterizar dicha concepción, se fijó sobre todo en el problema relativo a la fuente del desarrollo. Subrayó que todos los fenómenos aparecen en el mundo como una unidad (identidad) de contrarios. Esto significa "reconocer (descubrir) tendencias opuestas, contradictorias, *que se excluyen recíprocamente*, en *todos* los fenómenos y procesos de la naturaleza..." [5]. Cada una de las partes contradictorias de un todo íntegro es capaz de convertirse en su opuesto, los contrarios pasan de uno a otro; la interacción, la "lucha" de contrarios constituye, precisamente, el venero del desarrollo.

La tesis materialista dialéctica sobre las contradicciones internas

---

(4) *F. Hoyle*, "Frontiers of Astronomy". Melbourne, 1956; *del mismo autor*, "Galaxies, Nuclei and Quasars". New York, 1965; *J. Oort*, "Estructura y evolución del sistema galáctico". "La Tierra y el Universo", 1965, Nº 2, 3; *M. Schwarzschild*, "Estructura y evolución de las estrellas", Moscú, 1961.

(5) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 317.

como hontanar del desarrollo ha ayudado a comprender el significado de los objetos no estacionarios del universo como *fases, sujetas a ley*, de la evolución cósmica, en la que desempeñan el papel decisivo. Constituyen *puntos críticos* en el desarrollo de los cuerpos y sistemas cósmicos, puntos relacionados con el paso de dichos cuerpos y sistemas de un estado a otro o, como se ha aclarado más tarde, relacionados asimismo con el nacimiento de nuevos cuerpos; podemos observar directamente, en esos momentos, los procesos de sus cambios de estado. Las investigaciones ulteriores en esta dirección permitieron predecir muchos fenómenos de la no estacionariedad en los sistemas estelares, incluso aquellos cuyo descubrimiento ha representado para muchos una sorpresa. Tales investigaciones abren el camino a una comprensión más plena de los diversos procesos cosmogónicos.

En segundo lugar, los hechos relativos a la heterogeneidad de la distribución de los objetos cósmicos en el espacio, por ejemplo de las estrellas y galaxias, encierran una valiosa información sobre el carácter de los procesos cosmogónicos, dado que los cambios evolutivos en los grupos y en las agrupaciones de estrellas y galaxias pueden observarse con mayor seguridad aplicando los métodos de la mecánica estadística de los sistemas estelares. Desde luego, en estos datos fácticos por sí mismos (lo mismo que en otros cualesquiera) no está contenida aún su interpretación físico-teórica unívoca. La generalización de esos datos resulta imposible sin introducir diversas hipótesis físicas, la construcción de modelos, etc., en los momentos necesarios. No obstante, partiendo de la generalización de esos datos, es posible estudiar los procesos de los cambios en los diversos cuerpos cósmicos y sus sistemas sin recurrir a conjeturas excesivamente arbitrarias o dudosas.

En tercer lugar, merecen asimismo gran atención los datos fácticos relativos a objetos de un mismo tipo que se encuentran en distintas fases de desarrollo. Por ejemplo, la interpretación evolucionista del diagrama de los estados estelares de Hertzsprung - Russell es extraordinariamente valiosa para comprender los procesos de la evolución de las estrellas. Sin embargo, la concatenación de los diferentes estados de las estrellas según el diagrama de Hertzsprung - Russell en una serie evolutiva (o en series evolutivas) puede efectuarse recurriendo a las hipótesis más diversas, entre ellas, hipótesis que se excluyen mutuamente; para elegir entre ellas hay que utilizar datos no contenidos en el diagrama (por ejemplo, conclusiones de la estadística estelar). De esta suerte, los conocimientos empíricos sobre la evolución de las estrellas contenidos en el diagrama de Hertzsprung-Russell poseen un carácter bastante indirecto, y "descifrarlos" con seguridad resulta ser una tarea que nada tiene de sencilla.

El análisis del material empírico sobre los cambios que se observan en los cuerpos cósmicos y en sus sistemas permite construir hipótesis fundamentadas respecto al mecanismo y a la esencia física de los procesos que provocan los cambios observables. Dichas hipótesis, que atañen a cambios particulares y que, a diferencia de los esquemas especulativos de distinto género, se inspiran en datos empíricos, cons-

tituyen una parte de suma importancia en la interpretación teórica de las diversas fases de los procesos cosmogónicos. Ayudan a construir modelos bastante adecuados de tales procesos y en final de cuentas a crear una teoría bien fundada de los mismos. El "eje orientador" en todas las etapas de la construcción de semejante teoría han de ser las conclusiones que se desprenden de la generalización de los datos fácticos. Al construir teorías de diversos procesos cosmogónicos generalizando esos datos no hay que cerrar los ojos ante las dificultades que surgen cuando se intenta explicar los fenómenos objeto de estudio tomando como base viejas representaciones. Al contrario, concentrando la atención en tales dificultades y valorándolas, es necesario analizar la posibilidad de que nos encontremos ante fenómenos cualitativamente nuevos y esforzarse por determinar la orientación en que, correspondientemente, es necesario modificar las representaciones habituales.

Así, pues, el estudio de la estructura y evolución de los sistemas cósmicos ha de iniciarse, por regla general, resolviendo problemas singulares, particulares, que no exigen la introducción de hipótesis arbitrarias, es decir, estudiando los procesos cosmogónicos elementales; cuando se hayan reunido conclusiones suficientemente numerosas y seguras sobre las leyes de estos procesos será posible emprender el estudio de la evolución de los sistemas cósmicos como un todo.

Las investigaciones basadas en la aplicación sistemática de semejante procedimiento metodológico en la cosmogonía estelar se iniciaron en la década de los años 30 en la universidad de Leningrado y en la actualidad se prosiguen en el observatorio astrofísico de Biurakán.

El análisis de los datos fácticos acerca del carácter estacionario o no estacionario de las estrellas y de los grupos de estrellas que entran en la galaxia ha demostrado que, en contraposición a las representaciones antes comúnmente admitidas, nuestra galaxia forma un sistema en el cual se producen cambios borrascosos y a menudo sumamente rápidos.

Aplicando los principios de la dinámica estelar a los cúmulos estelares descubiertos se ha llegado a la conclusión de que incluso si tales cúmulos se encuentran en estado "estacionario", en cierto modo tienen que volatilizarse a causa de la interacción de las estrellas. Algunas estrellas con el transcurso del tiempo salen del cúmulo de modo análogo a las móleculas en la superficie de un líquido. Como resultado de dicho proceso, muchos cúmulos tendrán que desaparecer tan solo en el transcurso de unos centenares de millones de años, y algunos de ellos durante unas decenas de millones[6].

A un análisis semejante se ha sometido el cúmulo de las estrellas dobles visuales de la galaxia. Se ha aclarado que los procesos de desintegración de los amplios pares de estrellas, procesos que se dan a consecuencia del encuentro de dichos pares con las estrellas del

(6) Ver *V. A. Ambartsumián*, "La cosmogonía y la astrofísica contemporánea". "Trabajos científicos", t. II, Ereván, 1960.

campo circundante, dominan sobre los procesos de formación de nuevos pares en las aproximaciones casuales de las estrellas. La cantidad de estrellas solitarias en el campo estelar de la galaxia en general, crece permanentemente a costa de la desintegración de los cúmulos y de las estrellas dobles visuales, con la particularidad de que dicho proceso se produce en una sola dirección. De este modo, la desintegración y la dispersión (en plena correspondencia con el segundo principio de la termodinámica) caracterizan la *orientación general* de los procesos en nuestra galaxia y, como se ha visto después, en otras galaxias.

La comprobación de tales hechos ha permitido asimismo formular el concepto de "escala corta" de la edad de la galaxia y de las estrellas que la componen. Según la "escala larga", aceptada a comienzos de los años treinta, se calculaba que la edad de las estrellas de la galaxia era de 10^{12} - 10^{13} años. Pero el descubrimiento de la desintegración inevitable de los grupos y cúmulos de estrellas en plazos relativamente cortos ha revelado que la galaxia en su estado actual no puede tener una edad superior (en orden de magnitud) a los 10^{9} - 10^{10} años.

En cuanto a la idea de que los sistemas estelares y las estrellas se formaron de gas enrarecido, a mediados de siglo se empezó a aclarar, cada vez de manera más definida, que tal idea carece del fundamento necesario de observación, que en esencia es arbitraria y que hasta cierto punto se ha convertido en un prejuicio. Cabe señalar tres grupos de hechos, indirectos pero muy precisos, indicadores de que el estado inicial de la materia de que se formaron los objetos cósmicos no era un estado enrarecido, sino denso o superdenso, y también que dichos cuerpos no se formaron en el transcurso de una condensación gradual y lenta, sino como resultado de procesos de desintegración y de explosión.

El primer grupo de hechos corresponde a las asociaciones estelares, grupos de estrellas surgidos no hace mucho tiempo que se desintegran inmediatamente después de su nacimiento[7]. Dichos sistemas en su mayor parte han resultado no estacionarios en el pleno sentido de la palabra, dado que las estrellas que los componen se alejan rápidamente unas de otras. No pudieron formarse directamente de materia difusa como resultado de una inestabilidad gravitacional, puesto que un grupo de estrellas surgido de este modo sería en todos los casos estacionario. Las particularidades que se observan de las asociaciones sólo pueden explicarse sin forzar los argumentos y sin contradicciones, si suponemos que las protoestrellas constituyen cuerpos de naturaleza totalmente distinta que las nebulosas o las estrellas corrientes. Tales cuerpos han de poseer grandes masas y radios relativamente pequeños, lo cual habla de su alta densidad. Las protoestrellas han de contener cantidades inmensas de energía potencial. Como resultado de su desmenuzamiento, surgen "fragmentos" con

(7) Ver *V. A. Ambartsumián*, "La evolución de las estrellas y la astrofísica", "Trabajos científicos", t. II.

masas del orden de las masas estelares. Estos "fragmentos" son inestables y se convierten rápidamente en estrellas. La masa que queda de la ex-protoestrella forma una nebulosa. Parte de la energía potencial concentrada en la protoestrella se transforma en la energía cinética de la expansión de los grupos estelares y de las nebulosas difusas relacionadas con ellas.

Esta hipótesis no está vinculada a la construcción de ningún modelo teórico de protoestrella ni examina tampoco el mecanismo concreto de la transformación de las protoestrellas en grupos y cúmulos estelares. Las propiedades de la materia preestelar son, probablemente, tan específicas que resulta difícil explicarlas sin más conocimientos que los actuales sobre las partículas elementales. Primero es necesario hallar diversas manifestaciones externas de las propiedades de la materia preestelar, reunir el mayor número posible de datos sobre ellas y estudiar sus leyes. Sólo después será posible deducir conclusiones fundamentadas sobre la naturaleza de las protoestrellas.

Hay razones para creer que la descripción de los procesos de la formación de las estrellas requiere generalizar algunas leyes fundamentales de la física en su forma actual, por ejemplo la ley de la conservación del momento rotativo y tal vez incluso la ley de la conservación de la energía. Como muestra la historia de la ley de la conservación de la energía, la física se ha encontrado ya más de una vez con la infracción de esta ley *en su forma concreta*, limitada sólo a las especies de energía conocidas en el tiempo dado. Se hacía, así, necesario generalizar la ley de la conservación de la energía, extenderla a nuevas especies de energía antes desconocidas, lo cual conducía, correspondientemente, a desarrollar la noción misma de energía en física. Bastará recordar, por ejemplo, la formación de las representaciones sobre el equivalente mecánico del calor, la introducción del concepto de energía en reposo del cuerpo en la teoría especial de la relatividad, etc. Con cada una de estas generalizaciones la idea de la conservación de la energía se hacía extensiva a una clase de magnitudes más amplia.

Por lo visto, lo mismo cabe esperar en el ulterior estudio de los procesos de formación de las galaxias y de los cúmulos estelares. Al principio había motivos para suponer que las propiedades insólitas de las protoestrellas y las posibles infracciones de las leyes conocidas de la física podrían explicarse por la densidad superelevada de las protoestrellas. Actualmente parece más probable que la causa buscada sea no tanto la densidad superelevada de las protoestrellas cuanto su masa gigantesca.

El segundo grupo de hechos que permiten llegar a la conclusión de que existen protoestrellas masivas y densas se relaciona con la evolución estelar. En 1954 se puso en claro que en las atmósferas de las estrellas de ciertos tipos (por ejemplo, de las variables "explosivas") se liberan sensibles cantidades de energía, con la particularidad de que este proceso posee un carácter discreto: la energía no se libera gradualmente, sino de golpe, a modo de explosión. El análisis de este fenómeno, inexplicable desde el punto de vista comúnmente

admitido sobre las reacciones termonucleares en el seno de las estrellas, conduce a la siguiente conclusión: las reacciones termonucleares no son la fuente principal —o en todo caso la única— de la energía estelar para todos los tipos de estrellas[8]. Los fenómenos que se observan pueden explicarse suponiendo que en el seno de las estrellas se conservan restos de la materia "preestelar"; ésta puede conducirse de tal o cual manera en las capas superficiales de la estrella o más allá de sus límites (el traslado de la energía se realiza en porciones) donde se libera provocando la explosión de la estrella.

Finalmente, el tercer grupo de hechos, y el más convincente, que ponen al descubierto las "huellas" del estado inicial denso o superdenso, se refiere a los grupos inestables y a los cúmulos de galaxias, así como a los fenómenos no estacionarios en los núcleos de las galaxias, en los cuales observamos formas diversas de actividad. Se ha comprobado, en particular, que las radiogalaxias son objetos en alto grado no estacionarios y pueden despedir radioemisiones sólo durante breves intervalos de tiempo, insignificantes en comparación con la edad de las galaxias. No son sistemas que chocan, como en cierto tiempo creyeron casi todos los astrofísicos. Al contrario, en este caso nos encontramos con la división del núcleo de la galaxia en partes o con potentes explosiones en núcleos densos[9].

Las radiogalaxias constituyen la manifestación tan solo de una de las formas de la actividad de los núcleos de las galaxias. En los núcleos de algunas galaxias supergigantes se han descubierto, además, otras formas de actividad. Los hechos inducen a creer que los núcleos participan activamente en la formación de las propias galaxias.

¿Qué constituyen, no obstante, los núcleos de las galaxias? ¿Y cuál es el mecanismo de los procesos de potencia enorme que de vez en cuando en ellos se dan?

Todos los fenómenos descritos relacionados con la actividad de los núcleos de las galaxias serían imposibles, si éstos constaran sólo de estrellas y de materia difusa. Por esto en 1955-1957, en el observatorio de Biurakan se formuló el punto de vista según el cual en los núcleos de las galaxias se encuentran cuerpos pequeños por sus dimensiones, pero superiores en muchos órdenes, por su masa, a las estrellas corrientes, distintos asimismo de éstas y de la materia difusa por su naturaleza física. Esos cuerpos muy densos y posiblemente hasta superdensos constituyen una nueva forma de la materia, tal vez desconocida por completo de la física contemporánea. Pueden dividirse en partes que se alejan unas de las otras a grandes velocidades y son capaces también de arrojar masivos paquetes de materia. Para ello han de contener en estado potencial cantidades enormes de energía. La explosión de un núcleo provoca la formación de nuevas galaxias o —en otros casos— de diversos subsistemas estelares en las galaxias. Parte de la energía que se libera a causa de la explosión del

---

(8) Ver *V. A. Ambartsumián*, "El fenómeno de la emisión continua y las fuentes de la energía estelar". "Trabajos científicos", t. II.

(9) Ver *V. A. Ambartsumián*, "Sobre la evolución de las galaxias". "Trabajos científicos", t. II.

núcleo se convierte en energía cinética de los objetos que se forman. Por ahora resulta difícil presentar el mecanismo físico concreto de estos procesos.

El ulterior desarrollo de esa idea ha llevado a la conclusión de que a consecuencia de las explosiones en los núcleos pueden surgir no ya pares de galaxias, sino, además, grupos enteros y cúmulos galácticos. Al nacer los grupos sólo aparecieron, primero, densos "embriones" de galaxias, que se formaron como resultado de la división simultánea o sucesiva del denso cuerpo masivo. En la división, los "embriones" adquirieron grandes velocidades. Al alejarse unos de los otros, cada uno de ellos formó a su alrededor una galaxia, de la que pasó a ser el núcleo.

Las observaciones señalan directamente como propiedad de la materia del núcleo que se halla en estado denso o superdenso, la capacidad de contener grandes reservas de energía, que se conservan hasta la explosión siguiente. ¿Puede explicarse esta propiedad del núcleo partiendo de las leyes conocidas de la física teórica? Aunque por ahora no sabemos cómo hacerlo, no es posible considerar totalmente excluida la posibilidad de construir, basándonos en dichas leyes, un modelo de núcleo de una galaxia con las propiedades observadas. Si a pesar de todo no resulta posible hacerlo, se llegará inevitablemente a la conclusión de que las leyes de la física teórica en su aspecto actual no son aplicables en ese dominio. Semejante posibilidad no sólo parece muy probable, sino que no ha de sorprender en absoluto, dado que la forma ahora aceptada de las leyes básicas de la física no es, sin duda alguna, definitiva. En las condiciones que existen, por ejemplo, en los núcleos de las galaxias o en el centro de las fuentes de radiación cuasiestelares, esas leyes pueden resultar inaplicables y tendrán que ser objeto de mayor precisión y generalización, lo que no hará más que aumentar su valor y ampliar el área de su aplicación.

En efecto, las leyes de la física constituyen, en esencia, la generalización de un determinado grupo de datos fácticos expresada en la forma más sencilla y breve posible. No cabe creer, sin embargo, que el sistema de leyes de la física teórica obtenido en una determinada etapa del desarrollo de la ciencia es absolutamente exacto, terminado y no sujeto a una ulterior generalización. Esas leyes reflejan la realidad objetiva de manera incompleta y aproximada, y no sólo pueden, sino que deben someterse a puntualización y generalización. (Precisar y generalizar las leyes de la naturaleza suele ser un proceso único. Por ejemplo, el paso de la mecánica clásica a la teoría especial de la relatividad constituye una puntualización de la mecánica clásica y su generalización en el caso de las grandes velocidades).

Tal idea se sustenta en el análisis del desarrollo de las ciencias naturales, que, con el transcurso del tiempo, descubren un número cada vez mayor de fenómenos nuevos, antes desconocidos, distintos, desde un punto de vista de principio, de cuanto se había conocido antes. Para explicar los datos fácticos que caracterizan fenómenos cualitativamente muy distintos, de los que sirvieron de base para establecer el sistema, vigente en el momento dado, de leyes de la física,

más de una vez ya nos hemos visto obligados a generalizar las leyes y teorías físicas. Tal necesidad surge asimismo precisamente al estudiar los procesos no estacionarios en los núcleos de las galaxias y en los objetos cuasiestelares. En el pasado, ni la física ni la astronomía se habían encontrado nunca con una concentración de masas tan grandes en volúmenes relativamente pequeños. Se trata de masas del orden de 10^{10} (y a veces hasta mayor) de las masas solares concentradas en volúmenes muy inferiores al de cualquier cúmulo estelar. Se trata de transformaciones de materia en las cuales la densidad cambia en miles de millones de veces, y la tensión del campo gravitacional puede alcanzar magnitudes inauditas. No existe ni puede existir garantía alguna de que en tales condiciones también se observen las leyes de la física que conocemos. Y nada tendría de sorprendente que los datos ahora conocidos acerca de los procesos no estacionarios en el universo, muy difíciles de interpretar teóricamente, condujeran con el transcurso del tiempo a una contradicción directa con las actuales leyes de la física teórica.

El físico de la Alemania occidental P. Jordan, ha intentado describir matemáticamente parte de semejantes procesos[10]. Creyó que su teoría describe los procesos de nacimiento de las estrellas. En realidad, probablemente es más aplicable al problema del origen de las galaxias. (Esto revela que el trabajo de Jordan tiene un carácter bastante formal y que no todas las ideas físicas en él expuestas son claras. Por otra parte, no es posible estar de acuerdo con una serie de tesis filosóficas que presenta Jordan al examinar las cuestiones indicadas).

Los fenómenos de no estacionariedad en el universo se descubren con creciente nitidez al pasar de las asociaciones de estrellas a las galaxias, sus grupos y cúmulos, y, finalmente, a la metagalaxia, con la correspondiente liberación de cantidades de energía cada vez mayores. Dicho de otro modo, existe toda una jerarquía de procesos de explosión, desintegración y desmembración. La expansión de la metagalaxia puede considerarse asimismo como resultado de una formación conjunta, en el proceso de carácter explosivo, de un gran número de cúmulos de galaxias (más exactamente: de "núcleos" o "embriones", cuya fragmentación dio origen a los cúmulos galácticos). Desde el punto de vista —el más en boga actualmente— según el cual las estrellas y los sistemas estelares se forman de gas enrarecido, esos fenómenos han de parecer totalmente incomprensibles.

En efecto, en la perspectiva del criterio "ortodoxo", el hecho de que existan agrupaciones estelares no estacionarias parece tan insólito que reiteradamente se han expresado dudas primero sobre la realidad de las asociaciones de estrellas y luego acerca de su inestabilidad. Y tan solo después de que el efecto de expansión por lo menos de algunas asociaciones de estrellas ha quedado totalmente confirmado y la idea de tales asociaciones como "focos" de la formación de estrellas en la galaxia ha llegado a admitirse sin reservas, han aparecido tentativas encaminadas a explicar la desintegración de las asociaciones de

(10) *P. Jordan*, "Schwerkraft und Weltall". Braunschweig, 1955.

estrellas partiendo de las ideas clásicas. Sin embargo, todas esas tentativas han resultado vanas.

El carácter eminentemente no estacionario de muchos grupos y cúmulos galácticos tampoco puede explicarse según la hipótesis que explica su formación por el gas enrarecido: si los cúmulos de galaxias se formaran de este modo, serían estables. Las reiteradas tentativas de salvar esa hipótesis negando el carácter no estacionario de los grupos y cúmulos de galaxias han sido inútiles.

Todavía ha ocasionado mayores dificultades el problema de la interpretación cosmogónica de las radiogalaxias y de los quasars. Cuando se vio que la interpretación de las radiogalaxias como sistemas de estrellas que chocaban era errónea y se obtuvieron datos fácticos que inducen a aceptar la hipótesis sobre la existencia de cuerpos de naturaleza no estelar en los núcleos de las galaxias, cuerpos en los que a veces se producen explosiones; y cuando además se descubrieron los quasars, los partidarios de las representaciones clásicas empezaron a explicar las explosiones en los núcleos de las galaxias no como resultado de la liberación de la energía contenida en el núcleo (es decir, desde el punto de vista de una propiedad nueva, hasta ahora desconocida, de la materia), sino fundándose en el mecanismo del colapso gravitacional, de la compresión catastrófica de la materia, inicialmente enrarecida, bajo la acción de la fuerza de gravitación, con lo cual queda libre una cantidad enorme de energía gravitacional.

En el transcurso de varios años se examinaron literalmente centenares de diferentes variantes teóricamente concebibles de cómo la energía gravitacional que se desprendía en el colapso podía convertirse precisamente en poderosísima radiación óptica y de quasars. Ello no obstante, no se ha encontrado una solución satisfactoria del problema. Todas las explicaciones formuladas chocan con dificultades teóricas, y se ha hecho patente con bastante rapidez su inconsistencia. La idea medular de estas hipótesis —la idea del colapso gravitacional— carece de toda confirmación empírica y resulta insuficiente para explicar las cantidades fantásticas de energía que se desprenden cuando los quasars explotan. Cuanto antes se eche por la borda esa idea carente de base y estéril, tanto más rápidamente podrán progresar las investigaciones de los procesos reales que acontecen en los quasars y en los núcleos de las galaxias.

Podemos añadir que todos los intentos llevados a cabo para explicar el tránsito de la fase inicial superdensa de la metagalaxia al gas enrarecido y la aparición, en él, de fluctuaciones de densidad que pudieran llevar a la formación de galaxias, estrellas, etc., han resultado infructuosas.

Desde el punto de vista de las representaciones obtenidas en el observatorio de Biurakán, no ha de sorprender que surjan tantas dificultades para descubrir el mecanismo del paso de la fase inicial superdensa de la metagalaxia al gas enrarecido, pues resulta erróneo el planteamiento mismo del problema. Es mucho más natural suponer que la evolución de la metagalaxia constituyó un proceso de fragmentación sucesiva de una materia densa o superdensa a la vez que se

formaba materia difusa (que luego se dispersaba). Actualmente es difícil formular una teoría de los estadios iniciales de este proceso, dado que por ahora no hay manera de elaborar la teoría de la formación de las estrellas o una teoría consecuente de la actividad cosmogónica de los núcleos de las galaxias. La cuestión no está sólo en la insuficiencia de datos fácticos, sino, además, en que la descripción adecuada del estado de la materia en casos de grandes densidades, y del mecanismo por el cual dicha materia se transforma en objetos cósmicos puede requerir la generalización de las teorías físicas contemporáneas si se ve que son igualmente esenciales los fenómenos cuánticos, los relativistas y los gravitacionales.

Así, pues, a diferencia de la astronomía de los siglos XVIII-XIX, en la cual las ideas sobre la unidad del mundo y su desarrollo a menudo se aplicaban, en primer lugar, inconscientemente, y en segundo lugar sin relacionarlas unas con otras, en la astronomía contemporánea esas ideas, aplicadas conjuntamente, se han convertido en un importante principio metodológico de investigación. Ha resultado, por consiguiente, en alto grado fecundo el pensamiento leninista de que "es necesario unir, enlazar, compaginar el principio universal del desarrollo con el principio universal de la u n i d a d d e l m u n d o, de la naturaleza, del movimiento, de la materia, etc." (11). Ese pensamiento se encuentra en la base de todas las formas actuales de abordar el estudio del universo.

La revolución en la astronomía contemporánea

El tránsito que se está produciendo ahora de un nivel de conocimientos sobre el universo a otro más profundo, con ruptura total de muchas representaciones habituales y su sustitución por otras inesperadas y chocantes, así como las búsquedas penosas y contradictorias de un nuevo lenguaje teórico más adecuado a la realidad objetiva, pueden considerarse muy legítimamente como una revolución en astronomía.

Su punto de arranque ha sido la honda crisis de las representaciones anteriores: sus profundas contradicciones internas y sus contradicciones con los datos empíricos. Las nuevas concepciones se han formulado en un principio partiendo de una cantidad muy limitada de hechos sobre los procesos no estacionarios del universo, parte de los cuales ya se conocían antes, pero ahora han recibido una interpretación radical.

Estas representaciones todavía son esquemáticas y simplistas. Permiten explicar, y sólo cualitativamente, una pequeña parte de los sorprendentes fenómenos que la astronomía contemporánea ha descubierto. Así suele ocurrir siempre en la etapa en que las nuevas representaciones no se han plasmado todavía en una teoría consecuente, y el torrente impetuoso de nuevos hechos y observaciones ya no permite volver a las viejas teorías.

---

(11) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 229.

Las nuevas representaciones en astronomía se forman parcialmente en el lenguaje de los conceptos y representaciones de antes, de los que no será posible, ni mucho menos, liberarse de golpe, con la particularidad de que las nuevas concepciones en astrofísica, en cosmogonía y cosmología sólo en el futuro recibirán una fundamentación completa.

Como demuestra el desarrollo de la astronomía moderna, no sería justo considerarla sólo como una de las zonas "de aplicación" de las teorías físicas sin que prometa nada nuevo a la física desde un punto de vista de principio. Al contrario, ahora, en no menor medida que durante el Renacimiento y la época Moderna, la astronomía nos reserva innumerables sorpresas, cada vez más "insólitas" no sólo para el sentido común, sino incluso para los teóricos de la física actual, al parecer acostumbrados a todo e incapaces ya de sorprenderse por nada. El "museo de curiosidades" de los conocimientos físicos se va completando casi todos los años con objetos cada vez más sorprendentes que plantean a los teóricos enigmas cada vez más difíciles (y embrollados).

Los hechos que ya se conocen permiten suponer que los problemas cardinales de la astronomía contemporánea pueden resultar fundamentales y su solución estará relacionada de una u otra manera con la revisión a fondo de una serie de importantes representaciones de la física actual. Las "sorpresas" de la astronomía pueden llegar a ser la fuente de nuevas ideas profundas e incluso de una nueva revolución en todo el sistema de los conocimientos físicos.

En resumen, a despecho de la opinión, bastante extendida, de que en todo el complejo de las ciencias físicas existe ahora sólo una zona extrema de investigación de donde realmente puede esperarse una transformación revolucionaria de nuestras representaciones físicas principales (la física de las partículas elementales), a medida que pasa el tiempo va resultando cada vez más evidente que las zonas de ese tipo son dos: la física de las partículas elementales y la astrofísica, cuya aportación a la física teórica puede no ser menor que la del estudio del micromundo.

Está fuera de toda duda que el ulterior avance de la revolución en la astronomía contemporánea conducirá a numerosos descubrimientos más insólitos aún y más sorprendentes que todos los hechos hasta ahora. "La inteligencia humana ha descubierto muchas cosas prodigiosas en la naturaleza, y descubrirá todavía más, aumentando con ello su poder sobre ella..."[12].

---

(12) Ver *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 298. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 313).

TERCERA PARTE

PROBLEMAS FILOSÓFICOS Y METODOLÓGICOS DE LAS CIENCIAS BIOLÓGICAS

V. A. ENGELHARDT
Académico

EL PROBLEMA DE LA VIDA EN LAS CIENCIAS NATURALES CONTEMPORÁNEAS

La definición de la esencia de la vida

Entre las cuestiones que han preocupado siempre, desde los tiempos más remotos, a quienes se han parado a meditar en los enigmas de la naturaleza, ha atraído, y a veces ha asustado por su inaccesibilidad, una de las más difíciles que presenta el conocimiento del mundo: la que se refiere a la esencia de la vida. El "conócete a ti mismo" socrático corresponde al saber de nivel superior alcanzado por el mundo vivo en su evolución, a la esfera del pensamiento y de la conducta del hombre. Es evidente, sin embargo, que semejante conocimiento presupone que existen datos suficientes sobre los fundamentos mismos de la existencia de los seres vivos. En final de cuentas, ha de partir de la respuesta dada a la siguiente pregunta: ¿qué es la vida?

Durante siglos y milenios el enigma de la vida ha sido un refugio de la metafísica, un dominio de las creencias, y no del saber. El concepto de vida se enlazaba indisolublemente con el de alma, con el vitalismo en sus diversos aspectos, con las representaciones acerca de la "fuerza vital" o con la "entelequia" de Driesch, con el "impulso vital" de Bergson, etc., considerados como incognoscibles, y de esta suerte se creaba un terreno propicio para el agnosticismo y para diversas formas de idealismo.

Todas esas representaciones, —diferenciadas en pequeñeces— se cimentaban en la afirmación de que los seres vivos y los procesos vitales no pueden explicarse partiendo de las ideas corrientes sobre las dependencias determinadas. Así lo declaró con especial nitidez un eminente naturalista de la segunda mitad del siglo pasado, presidente de la Academia de Ciencias de Berlín, Du Bois-Reymond, en una conferencia que dedicó a los "siete enigmas del universo" o siete magnos problemas de las ciencias naturales. De los siete, incluyó cuatro en la categoría de los trascendentes, inaccesibles al conocimiento, y a este número pertenecen los que hacen referencia a la naturaleza vi-

va. A ellos aludía Du Bois-Reymond al proclamar su "ignorabimus", "no lo conoceremos nunca", que llegó a hacerse famoso como lema del agnosticismo.

Es curioso confrontar con estas palabras las de un eminente científico contemporáneo, John Bernal, materialista consecuente y fundador de una de las direcciones principales de la biología molecular. "La vida —dice Bernal— ha dejado de ser un secreto místico; hablando prácticamente, se convierte en un criptograma, en un rompecabezas, en un código que puede ser descifrado, en un modelo de trabajo que se logrará crear más tarde o más temprano"(1). Las palabras de Bernal señalan con meridiana claridad la orientación metodológica de las ciencias naturales contemporáneas en lo que atañe al problema de la vida. Pero, aunque en la formulación citada se subraya que el problema en principio puede resolverse, por ella no se ve con claridad hasta qué punto se ha llegado a solucionar el "rompecabezas", ni si se perfila ya la respuesta a la pregunta más radical: ¿qué es la vida?

Hemos de reconocer que todavía no resulta posible contestar a esta pregunta a la altura de las exigencias científicas actuales. En el fondo, la respuesta ha de poner al descubierto la esencia de la vida, su naturaleza, y ha de hacer posible delimitar unívocamente lo vivo de lo no vivo; serviría de base para definir el concepto de "vida".

Se requeriría un espacio desmesurado (y los resultados no justificarían tal dispendio) si se quisiera hacer un resumen de las numerosas tentativas llevadas a cabo para responder a la pregunta de qué es la vida, o sea, para definir este concepto. La gama de tentativas de este género es insólitamente amplia y bastará aducir algunos ejemplos, entre los más dispares, para mostrar su diversidad.

En los años treinta de nuestro siglo, el ilustre bioquímico inglés Pirie, conocido por su afición a las formulaciones de carácter paradójico, tituló como sigue un trabajo suyo destinado a una miscelánea conmemorativa: "Sobre la falta de sentido de los términos «vida» y «vivo»" (2). Bernal califica dicho artículo como declaración de un iconoclasta, es decir, de un destructor de imágenes sagradas. El razonamiento de Pirie se apoya en la idea de que no es posible establecer un límite preciso entre los objetos vivos y los no vivos, cuestión a la que volveremos más adelante.

A este criterio se le puede oponer la definición de vida que el propio Bernal da actualmente en su artículo citado. Después de exponer una serie de consideraciones, Bernal dice que éstas "nos llevan a una definición provisional, aunque confío sea mejor, de la vida: la vida es una realización parcial, ininterrumpida, progresiva, condicionada por recíprocas influencias y dada por sí misma, de las potencias que existen en los estados electrónicos atómicos".

Un poco más adelante comentaremos la formulación de Bernal.

---

(1) *J. D. Bernal*, "New Scientist", 33, 12, 1967.

(2) *N. W. Pirie*, "Perspectives in Biochemistry", Cambridge, 1937, p. 11.

Mas ahora examinaremos un trabajo aparecido precisamente a mediados del tiempo que separa los dos enunciados que acabamos de aducir acerca del concepto de la vida. Nos referimos al libro de Schrödinger *¿Qué es la vida?*[3], pequeño por su extensión, mas rico en ideas. A consecuencia del espíritu obscurantista con que se apreció en ciertos medios, este libro, se vió inmerecidamente condenado y anatematizado. En realidad, se puede comparar con la roca que se desprende desde el pico de una montaña. Con su movimiento provocó el alud de la actual "revolución biológica", y en este sentido su aparición fue un acontecimiento de extraordinaria importancia.

Ahora bien, Schrödinger, después de titular su libro con una pregunta que desde remotos tiempos inquieta a los naturalistas (y no sólo a ellos, como es lógico), no vuelve a ella a lo largo de la obra ni le da respuesta. Se limita a fundamentar la tesis de que la vida para realizarse necesita "alimentación con entropía negativa". Por ello se explica que aparezcan altos grados de regulación en lugar de la tendencia, dictada por el segundo principio de la termodinámica, al aumento de la entropía. Sin embargo, la tesis postulada por Schrödinger nada dice acerca de lo que se halla en la base misma de esta sorprendente propiedad. Existen razones indiscutibles para atribuir a esta propiedad el valor de condición *necesaria* para el nacimiento y el mantenimiento de la vida, pero, desde luego, es imposible considerarla *suficiente* para asegurar el fenómeno de la vida; el propio Schrödinger no infiere, ni mucho menos, semejante conclusión. Según la idea de Schrödinger, las particularidades estructurales de las formaciones vivas, en particular de componentes suyos tan importantes como los cromosomas, han de considerarse como cristales aperiódicos. Esta idea, profunda y fructífera, también afecta sólo a uno de los rasgos característicos de los objetos vivos, pero deja abierta la cuestión relativa a la naturaleza misma de la vida.

Volviendo a la citada formulación de Bernal, debemos reconocer que si a muchas definiciones de la vida se les puede reprochar que son en exceso reducidos los criterios en que se asientan (por ejemplo, el propio Bernal dice en otro lugar que la vida no es una concepción metafísica, sino una estructura rigurosamente ordenada que se puede observar hasta el nivel de los átomos), en el caso que examinamos nos encontramos con una ampliación desmedida de los límites de la definición. Los estados de los electrones en los átomos son tan diversos en el reino mineral como en los objetos vivos, y las propiedades enumeradas no permiten construir una imagen clara ni siquiera del objeto vivo más simple.

La dificultad que presenta el problema de la esencia de la vida se halla ligada directamente a la falta de una respuesta precisa e indiscutible a otra cuestión al parecer sensiblemente más fácil y que, naturalmente, ha de resolverse antes de que pueda abordarse el problema de la naturaleza de la vida: ¿por dónde pasa el límite entre

(3) Ver *E. Schrödinger*, "¿Qué es la vida desde el punto de vista de la física?", Moscú, 1947.

lo vivo y lo muerto, cuál es el rasgo que nos permite determinar si un objeto es vivo o no lo es? Nos permitiremos presentar varios ejemplos; algunos podrán parecer un poco ingenuos, mas reflejan las dificultades existentes.

Para todo el mundo es evidente que está muerto el criminal al que han guillotinado. Pero su corazón todavía puede latir horas enteras como latía en vida del hombre si por él se hace pasar sangre artificialmente. Es más, como sabemos ahora, el corazón puede trasplantarse a otro hombre (con lo que se prolonga su vida). Así, pues, el organismo como un todo puede morir, pero sus partes, en ciertas condiciones, pueden conservar durante cierto tiempo la capacidad de vivir. Descendamos, por los niveles de la organización biológica, al mundo de los microbios y tomemos la célula de un anaerobio facultativo, es decir, de un microorganismo que en las condiciones habituales respira; si falta oxígeno, no perece, sino que empieza a captar la energía que necesita a costa de los procesos de fermentación. La célula ha dejado de respirar, pero ¿vive o no? La respuesta es clara: vive, pero vive de otra manera.

Podemos destruir por completo una célula, podemos por ejemplo, extraer de ella, sometiéndola a alta presión, lo que el experimentador denomina jugo celular; pero ese jugo desintegrará el azúcar y formará alcohol y ácido carbónico, es decir, fermentará, o dicho de otro modo, provocará los mismos fenómenos que la célula viva. Cabe preguntar: ¿tiene vida el jugo obtenido? También en este caso la respuesta parece clara: no tiene vida; pero resulta sensiblemente menos claro por qué "no" la tiene y en qué momento preciso nuestro objeto vivo ha dejado de vivir. Tomemos otro caso: es posible destruir una célula, dividirla en partes, obtener los denominados organoides, por ejemplo las mitocondrias, los ribosomas, etc. Si se establecen las condiciones necesarias de temperatura, medio nutricio y otras, dichas partículas pueden cumplir durante largo tiempo las mismas funciones que cumplían en la célula viva: realizar la síntesis de las proteínas, asegurar la transformación de la energía. ¿Se han de considerar los organoides vivos o no, y en caso negativo por qué?

Descendamos un peldaño más y crecerá más todavía la dificultad para responder unívocamente a la pregunta de qué es lo vivo y qué lo no vivo. Todo el mundo sabe que existen virus. Son formaciones biológicas que poseen la facultad de provocar infecciones. Después de penetrar en una célula, la partícula de virus se multiplica, a consecuencia de lo cual en la mayor parte de los casos la célula muere y las partículas virales que salen de ella pueden contagiar una nueva célula. Fuera de la célula, la partícula de virus no revela ninguna de las propiedades que consideramos rasgo obligatorio de lo vivo: no se produce en ella ningún proceso metabólico, no respira, no fermenta, no puede moverse, no puede reproducirse, no reacciona a estímulos exteriores de ninguna clase. Con mucha razón uno de los biólogos actuales más eminentes, Wendell Stanley, ha caracterizado gráficamente las propiedades paradójicas de los virus: en la célula,

el virus se comporta como un ser vivo, mas fuera de la célula está muerto, como una piedra.

En el fondo, había expresado la misma idea mucho antes nuestro difunto microbiólogo G. A. Nadson al decir que un virus es o bien una sustancia que posee las propiedades de un ser o bien un ser con las propiedades de una sustancia. A esto ha de añadirse que desde el punto de vista de su naturaleza química, muchos virus simplísimos realmente podrían considerarse como sustancia, pues constan de dos componentes: de una proteína y de un ácido nucleico. En un sentido formal, podrían incluirse en una categoría de combinaciones bien conocida de los químicos: la de los núcleoproteidos. Pero si la cuestión es ésta desde el punto de vista químico, el problema se presenta de manera totalmente distinta en el plano biológico: los virus no son otra cosa que parásitos intracelulares, y el concepto de "parásito" está indisolublemente vinculado a la representación de un objeto vivo que existe a costa de otro objeto, también vivo. En el reino mineral no se conoce el parasitismo.

Así, pues, en todos los niveles de organización biológica, empezando por el del núcleoproteido, como puede ser un virus, y terminando con el nivel del organismo humano, chocamos siempre con la imposibilidad de establecer unívocamente un límite entre lo viviente y lo no viviente. En vez de utilizar una categoría cualitativa inmutable, tenemos una cadena de gradaciones que se aproximan de modo imperceptible a cierto límite cuyo auténtico trazado no hay manera de fijar. Se comprende, por tanto, que se nos escape asimismo la posibilidad de dar una respuesta impecable a la pregunta de qué es la vida.

En este caso concreto aparece en todo su alcance la validez del principio, subrayado por Lenin, del materialismo dialéctico que "insiste sobre el carácter aproximado, relativo, de toda tesis científica acerca de la estructura de la materia y de sus propiedades; insiste sobre la ausencia de líneas absolutas de demarcación en la naturaleza, sobre la transformación de la materia en movimiento de un estado en otro, que, desde nuestro punto de vista, nos parece inconciliable con el primero, etc."(4)

Llegamos a la conclusión de que en la ciencia falta una definición del concepto de "vida" que abarque todas sus partes y que explique su esencia partiendo de conceptos ya conocidos. Según la lógica formal, definir significa delimitar un concepto dado en función de otro más amplio. Pero en el nivel actual del saber, en vano buscaríamos un concepto tan amplio que reflejase la vida en toda su plenitud, que no se redujera a la simple enumeración de rasgos característicos singulares, y que, tras los rasgos y las manifestaciones externos, descubriera su esencia, susceptible de concretización. Así, pues, nos vemos obligados a quedarnos con la definición en la que se nos dice que la vida es, entre todas las formas de existencia de la

(4) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 276. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 289).

materia que nos son conocidas, la más elevada que ésta ha alcanzado en su proceso evolutivo. Tal definición no contiene el elemento de carácter cognoscitivo, en ella no se plantea el problema de la esencia de la vida, sino que se persigue un objetivo de orden preferentemente clasificador. Sin embargo, de ella se derivan, en realidad, consecuencias que poseen un valor de principio, pues se trata de una definición que elimina incondicionalmente cuanto pudiera tener un cariz metafísico, y excluye todas las variedades de las concepciones vitalistas e idealistas que hemos enumerado más arriba.

Al examinar la definición citada se plantea en seguida una pregunta: ¿en qué consiste realmente la cualidad más elevada de esa forma de existencia de la materia, en qué supera esta forma los estados de la materia que se encuentran en el mundo de lo no viviente? La superioridad aludida se expresa en diversas relaciones. Respecto a criterios de carácter estático como la composición y la estructura de los objetos vivos, la variedad de los componentes químicos y la complejidad de la estructura química de la aplastante mayoría de las combinaciones que entran en los organismos vivos superan en un grado enorme a todo lo que se conoce en la naturaleza mineral. Lo mismo sucede respecto a la dinámica, es decir, a la variedad y a la rapidez de las transformaciones de las especies de materia. Los niveles que caracterizan a los sistemas vivos superan en muchos órdenes a los niveles que se observan en el mundo no viviente.

Las propiedades enumeradas bastan para comprender que en el mundo de lo vivo, el grado de desarrollo de la materia es más elevado que en el mundo de lo no viviente. Sin embargo, la cualidad más importante de todo lo vivo es la ordenación. Los sistemas vivos se caracterizan, ante todo, por su alto nivel de ordenación, con el que no puede compararse el de ninguno de los sistemas conocidos del mundo no viviente. El principio de ordenación se extiende a todos los aspectos importantes de la base material de la vida. En el nivel molecular y en el supramolecular directamente en contacto con él, dicho principio se manifiesta en la conformación de las macromoléculas, en sus asociaciones, sujetas a ley, en complejos multimoleculares, en las estructuras de creciente y consecutivo grado de complejidad que conducen ya a la organización morfológica. La ordenación en el espacio va acompañada de la ordenación en el tiempo, la cual se expresa en el hecho de asegurar la rigurosa sucesión en que transcurren las complejísimas transformaciones de la materia en los procesos metabólicos que figuran en la base de todas las manifestaciones de actividad vital. Precisamente en la facultad que tiene la materia viviente de crear un orden en el caótico movimiento térmico de las moléculas radica la diferencia más profunda y capital entre lo que tiene vida y lo que carece de ella.

El carácter único de la composición química, la peculiaridad de las condiciones en que transcurren las metamorfosis que sufren las sustancias en el proceso de la vida, esos rasgos típicos de lo vivo no entran en conflicto con las particularidades de los fenómenos del mundo no viviente. Eso son diferencias, pero no contradicciones. En cam-

bio, la tendencia a la ordenación ocupa un lugar especial. En este sentido, el objeto con vida, sin infringir las leyes que rigen en toda la naturaleza, actúa como en antagonismo con ellas. Puede decirse que en lugar de subordinarse pasivamente a la ley de la naturaleza, la vida hace posible oponerle resistencia activa, de modo análogo a como, al levantar un objeto pesado, no infringimos la ley de la gravitación, pero le oponemos resistencia.

La tendencia a la ordenación, a poner orden en el caos, no es otra cosa que la resistencia al principio del incremento de la entropía, es decir, al segundo principio de la termodinámica, del que habló Schrödinger, como hemos recordado ya más arriba. Eso es, en esencia, la "nutrición por entropía negativa" que presentó como la propiedad más específica de lo vivo. De la aceptación de esta facultad de los objetos vivos de oponerse al segundo principio, se desprende una consecuencia de primerísima importancia. Los objetos vivos han de constituir sistemas abiertos, es decir, han de ser capaces de entrar en acción recíproca con el medio circundante, de intercambiar energía con él. Gracias a ello, nada menos, se elimina la contradicción a que da lugar la pretendida infracción del segundo principio: la disminución local de la entropía que se produce en el objeto vivo tomado aisladamente, en realidad va acompañada de su incremento en el sistema real "objeto vivo - medio" y, por ende, en realidad no se altera para nada el segundo principio.

Si admitimos, como hemos dicho más arriba, que el nivel a que han llegado las ciencias naturales no permite todavía responder a la pregunta capital sobre la esencia de la vida, no está excluida la posibilidad de que tal pregunta carezca de contenido real. En esta cuestión podría surgir un estado de cosas análogo, en cierta medida, a las representaciones sobre los líquidos "imponderables" y las sustancias hipotéticas que en su tiempo imperaron en física, cuando para explicar las propiedades de la luz se creó la representación del éter; para explicar los fenómenos térmicos, la del calórico, y para explicar los fenómenos del magnetismo y de la electricidad, se idearon los correspondientes fluidos. Al progresar el conocimiento de los fenómenos indicados, desapareció la necesidad de los principios hipotéticos. Desde luego, es difícil predecir si para la interpretación de la naturaleza de la vida se hallará un sistema de representaciones como se dio, por ejemplo, para la naturaleza de la luz en la teoría electromagnética de Maxwell. En todo caso se ha de reconocer que en la etapa actual del estudio de lo viviente no se perfilan todavía las posibilidades para que así sea.

El conocimiento de los atributos de la vida

Lo nuevo que en el conocimiento de la vida ha aportado la ciencia moderna consiste ante todo en haber profundizado y ampliado enormemente la información sobre los fundamentos elementales de los mecanismos primarios que aseguran la realización de manifesta-

ciones importantísimas de la actividad vital. Nos referimos a las propiedades de lo vivo que desde hace mucho tiempo han figurado entre los atributos capitales de la vida, como la facultad de autorreproducirse, el fenómeno de la herencia, el metabolismo, el movimiento, la transformación de la energía, etc. Respecto a muchos de estos atributos, ahora ya se logra no limitarse, como sucedía antes, a las caracterizaciones principalmente fenomenológicas. Hoy ya es posible interpretar sus mecanismos fundamentales utilizando conceptos de las ciencias exactas, y descubrir sus correlaciones causales. Ello no ha de considerarse sólo como uno de los sucesivos pasos habituales en el avance gradual de nuestro saber, sino como adelantos de importantísimo orden cualitativo.

Este progreso cualitativo se ha manifestado de manera todavía más precisa en el descubrimiento de fenómenos, antes totalmente desconocidos, que poseen sin duda alguna todos los rasgos de un atributo típico de la vida. Se encuentran en la base misma de varias funciones biológicas cardinales, son exclusivamente propios de los sistemas vivos y nunca se han descubierto (ni, según parece, pueden descubrirse) en el mundo de lo no viviente. En consecuencia, estos nuevos fenómenos y leyes suponen una aportación inmensa a las representaciones de los caracteres específicos de la vida. Pero tampoco en este terreno, como respecto a todos los demás atributos de lo vivo tomados por separado, contamos con rasgos que, por sí mismos nos permitan establecer un límite claro, firme y absoluto, entre lo viviente y lo no viviente, o que nos pongan en condiciones de definir la esencia de la vida. Ésta sigue perfilándose como cierto conjunto de un número mayor o menor de propiedades y manifestaciones. Fijar cuáles son los conjuntos simples en grado máximo de los atributos cuya presencia da derecho a incluir el correspondiente objeto en la categoría de sistemas vivos, ha de considerarse como una de las principales tareas que hoy se presentan a la ciencia que trata de la vida.

Los tipos de estos rasgos específicos de la vida que se presentan de manera nueva, se diferencian hondamente por su naturaleza. De ellos forman parte características como ciertos rasgos de la composición química, nuevos principios de biosíntesis de las macromoléculas, mecanismos moleculares de regulación de los procesos que se dan en los sistemas vivos, y los fundamentos de la información biológica. Es a todas luces evidente que el conocimiento de un número cada vez mayor de los atributos de la vida, en particular de los que poseen un carácter más general, abre nuevos caminos al conocimiento de los fenómenos de la misma. Es, precisamente, al examen de los nuevos rasgos cualitativos de la vida descubiertos por la ciencia contemporánea a lo que vamos a dedicar, sobre todo, la siguiente exposición.

La biología molecular, nuevo peldaño en la investigación de la materia viva

Al hablar del descubrimiento de nuevos atributos de la vida es necesario subrayar que éstos, a diferencia de los rasgos "clásicos"

de la vida, son inaccesibles a la percepción directa. El conocimiento de los nuevos rasgos típicos de lo vivo ha sido posible gracias a la decisiva irrupción de las ciencias exactas —física, química, cristalografía y otras— en la esfera de investigación de los problemas biológicos. Al mismo tiempo se ha dado la circunstancia de que en la indagación biológica experimental se han introducido objetos de simplicidad límite, que se encuentran en la frontera misma del mundo de lo vivo y el de lo inerte, como los virus o los sistemas que han alcanzado un nivel auténticamente molecular.

La acción conjunta de los nuevos enfoques y de las nuevas formas de pensar no sólo ha proporcionado un número cada vez mayor de hechos nuevos, sino que, además ha fortalecido poderosa y recíprocamente líneas de investigación estrechamente entrelazadas. Ha crecido en proporciones colosales el estudio analítico de los fenómenos radicales de la vida, a la par que se han desarrollado las concepciones sintéticas, integradoras. Así en poco tiempo, a lo largo de tres o cuatro lustros, ha surgido una nueva ciencia, la biología molecular, que ha ocasionado una auténtica revolución en muchas esferas importantes de la biología. El insigne físico Patrick Maynard Stuart Blackett, presidente de la Real Sociedad inglesa, ha expresado esta idea en forma lapidaria diciendo que "la biología molecular ha revolucionado la ciencia que trata de lo vivo en la misma medida que la teoría cuántica revolucionó la física nuclear hace cuarenta años"(5).

El nombre mismo de esta joven rama de las ciencias naturales pone de manifiesto que la biología molecular se plantea como objetivo el penetrar en los fundamentos profundos y más elementales de la existencia del mundo de lo vivo, al nivel de los átomos y moléculas, raíz del fenómeno de la vida. Ha aparecido, así, la posibilidad de caracterizar bajo una nueva luz lo específico de los procesos vitales, descubrir con máxima plenitud los fundamentos materiales de los mecanismos biológicos que aseguran la realización de las diversas funciones de los objetos vivos, conocer las leyes de los principios de integración que participan en la formación de la unidad interna y de la integridad como uno de los atributos capitales de la vida.

Hasta cierto punto, la situación creada en la biología a comienzos de la segunda mitad de nuestro siglo presenta rasgos de semejanza con la que se produjo en el dominio de la física en la linde de los siglos XIX y XX, época en que Lenin escribió sus clásicos trabajos filosóficos. La física se hallaba entonces en un período de revisión total de valores. Con suma clarividencia Lenin vio, en las nuevas representaciones que entonces surgían, pruebas del incontenible movimiento progresivo del conocimiento científico. Los adelantos radicales que en el transcurso de los últimos decenios se han producido en la ciencia biológica se consideran como una revolución en las teorías que tratan del mundo de lo vivo. Esto no es así en el sentido de que se han derrocado algunas concepciones anteriores, sino en otro senti-

(5) "European Conference on Molecular Biology", Geneva, 22-25 January 1968. CEMB 68/45 E p. 15.

do. La revolución en biología se expresa sobre todo en el hecho de dotar a los investigadores de instrumentos, métodos y concepciones totalmente nuevos, así como en la utilización de objetos completamente nuevos para el cumplimiento de grandes tareas. Se han obtenido, de este modo, éxitos enormes, con la particularidad de que muchos de ellos hace aún pocos años, antes del advenimiento de la "revolución", en principio se encontraban, al parecer, si no más allá de las posibilidades experimentales, por lo menos infinitamente lejanos. Pueden incluirse, entre los éxitos aludidos la síntesis química de una molécula de proteína, el descubrimiento del código genético con la explicación de la esencia material de los fenómenos hereditarios, el conocimiento de los mecanismos biológicos reguladores más importantes, la interpretación de la naturaleza de muchas manifestaciones de la actividad vital como resultado de los cambios estructurales de las moléculas de los polímeros biológicos: de las proteínas y de los ácidos nucleicos, etc.

Antes de pasar al examen de algunos resultados particulares de la biología molecular, expondremos una concepción de carácter generalizador, que esboza a grandes rasgos lo que tienen de específico los fenómenos de la vida.

Desde hace mucho tiempo, la vida aparecía como un proceso a la mente del científico. Leonardo da Vinci plasmó esta idea en una imagen artística: "Un cuerpo, cualquiera que sea el ser al que pertenezca, muere ininterrumpidamente y de nuevo nace ininterrumpidamente... si no das al cuerpo tanto alimento cuanto ha consumido, las fuerzas vitales se debilitan, y si le privas de alimento por completo, cesará de vivir. Pero si le das tanto alimento cuanto haya consumido en un día, surgirá tanta vida cuanto haya desaparecido, de modo semejante a la llama de una vela que se alimenta de su sustancia; el alimento afluye a la llama con la misma rapidez con que desaparece en lo alto donde, muriendo en centelleante luz, se transforma en humo oscuro; esa muerte es ininterrumpida como es ininterrumpido el humo, y la persistencia del humo es igual a la persistencia de la alimentación; en todo instante la llama muere y surge de nuevo plenamente junto con el movimiento de la sustancia que la alimenta"(6).

Podemos decir que la vida forma un conjunto de cierto número de principios, con la particularidad de que ninguno de ellos tomado por separado determina la vida, pero ésta resulta imposible si falta aunque sólo sea uno de los principios aludidos. Uno de estos principios es la organización estructural. No podemos imaginarnos que posea vida un objeto carente de estructura, un objeto que no contenga elementos de una ordenación determinada, fijada en cierta medida. Otros principios se hallan contenidos en la combinación de los tres flujos que se hallan en la base de la vida: el de la materia, el de la energía y el de la información. Vamos a empezar examinando esos tres flujos, y trasladaremos a la parte final del artículo las cuestiones

---

(6) Citado según el libro de *O. Meyerhof*, "La termodinámica de los procesos vitales". Moscú-Leningrado, 1928, pág. 8.

de la organización estructural. Examinaremos los tres flujos, tan distintos cualitativamente, por separado, aunque están trabados unos con otros de manera muy íntima, formando una tríada interiormente enlazada que podría caracterizarse como "trinidad biótica", base dinámica de la vida.

El flujo de la materia

Al hablar del flujo de la materia como de un principio que constituye el fundamento sustancial de la vida, es lógico hacerse la siguiente pregunta: ¿dónde se encuentra el nivel inferior de las formaciones materiales en que tenemos derecho a esperar las primeras manifestaciones de la vida? ¿Son legítimos los términos como "proteína viva" y "molécula viva"? En el último caso, la respuesta ha de ser indudablemente negativa. Es imposible imaginarse que el conjunto de principios cualitativamente heterogéneos que, como hemos indicado más arriba, caracterizan los fenómenos de la vida sea inherente a las moléculas individuales o a algún tipo individual de sustancias químicas. Para su realización, los fenómenos de la vida exigen obligatoriamente que se dé cierto conjunto ordenado de componentes materiales, es decir, un determinado sistema material. Eludiremos el uso del término "materia viva", pues lleva en sí cierto elemento de indeterminación, y preferiremos emplear la expresión "sistema vivo".

Como límite ínfimo de complejidad de semejante sistema, se configura un sistema de dos componentes, cosa que puede observarse en la frontera entre lo vivo y lo no vivo, en los virus más simples. Sirven como componentes de este género las clases más importantes de biopolímeros: las proteínas y los ácidos nucleicos; no se conoce ningún sistema que pueda incluirse en el número de los sistemas vivos en el cual no estén presentes ambos componentes. Es más, en principio negamos la posibilidad de que existan sistemas vivos que no contengan los dos componentes indicados. Puede considerarse que tal afirmación tiene la fuerza de un postulado. No es axiomática, pues se apoya en una firme base experimental y se desprende de que entre los dos tipos indicados de sustancias macromoleculares está como dividida la misión de asegurar los tres flujos que, en su unidad, constituyen la base de la vida. Los ácidos nucleicos desempeñan el papel principal en la realización del flujo informativo, mientras que el flujo de la materia y el de la energía se hallan condicionados por las propiedades de las proteínas, en primer lugar por la más importante de todas ellas: su actividad catalítica. A las proteínas les pertenece asimismo el decisivo papel de asegurar la organización estructural de la materia viva.

En ciertos aspectos diríase que el flujo de la materia como tal requiere comentarios en menor grado que los otros flujos. A él le corresponde la forma, directamente perceptible, del nexo del sistema vivo con el medio exterior; él constituye la base de tales facetas de la actividad vital como la alimentación y el metabolismo. En este aspecto, durante el período que nos interesa no se han producido

avances que hayan implicado la aparición de puntos de vista esencialmente nuevos o que hayan introducido cambios de principio en el sistema de representaciones establecido hace tiempo. Ahora bien, la situación cambia radicalmente, en primer lugar, si examinamos las relaciones entre el flujo de la materia y los otros dos flujos, el de la energía y el de la información; en segundo lugar, si examinamos los eslabones concretos de que se compone el flujo de la materia. En este terreno se descubren varios aspectos que se han de incluir con pleno fundamento en el número de los que son específicos de los sistemas vivos.

En su parte fundamental, el flujo de la materia en los objetos vivos está constituido por un enorme conjunto de transformaciones químicas que sufren los componentes de los sistemas vivos, sean los elementos de su propia estructura sujetos a desgaste biológico y a renovación o las sustancias alimenticias que llevan material estructural o energético. Todas esas transformaciones, que pueden aunarse mediante el concepto de dinámica química de lo vivo, las inician catalizadores biológicos, fermentos, de naturaleza proteica. La inmensa mayoría de las reacciones químicas citadas no se diferencian, en esencia, de las que se producen en el reino mineral, aunque por su perfección —alta selectividad, fuerza de la acción y demás propiedades— los fermentos superan en mucho a los catalizadores que habitualmente se aplican en la producción química o en la práctica de laboratorio.

Al mismo tiempo, es precisamente en los sistemas vivos donde se realizan tipos de transformaciones químicas que nunca se han descubierto en el mundo de lo no viviente y que pueden considerarse con plena razón como un nuevo atributo específico de lo vivo. Su significación no sólo es una consecuencia de su peculiaridad, sino, además, del hecho de que determinan la propiedad cardinal de lo vivo: la facultad de reproducirse. Nos referimos a la reacción de la denominada síntesis matricial.

El descubrimiento de la síntesis matricial ha de considerarse como un éxito muy relevante de las ciencias naturales, pues gracias a él uno de los atributos radicales de la vida ha obtenido una interpretación concreta, llevada, por añadidura, hasta el nivel de la estructura molecular. Los mecanismos de la síntesis matricial son extraordinariamente finos. En cambio, la esencia de su principio es muy sencilla y clara. Estriba en que las nuevas moléculas se sintetizan en exacta correspondencia con el programa contenido en la estructura de la molécula precedente. Nuestra vida cotidiana y la técnica nos ofrecen en la práctica muchas analogías de ello: el metal endurecido reproduce todos los detalles del molde que ha servido para la fundición; del negativo de una fotografía se obtienen copias que conservan todos los rasgos del objeto, si bien en una relación inversa de luz y sombras; el invento que ha proporcionado posibilidades ilimitadas al flujo de la información engendrada por la actividad de nuestra mente —creación de la prensa tipográfica por Gutenberg— ha permitido reproducir sin alteraciones un texto compuesto de letras, por largo que sea. Este último ejemplo nos ofrece la analogía más próxima al principio

examinado de la síntesis matricial, principio que la naturaleza utilizó hace miles de millones de años al surgir la vida por primera vez.

La importancia del principio de la síntesis matricial se desprende del hecho de que figura en la base de la estructura tanto de los ácidos nucleicos como de las proteínas. En estos dos casos, algunos detalles del mecanismo de la síntesis matricial no son idénticos, mas el principio rector es en uno y otro caso el mismo: el de la acción recíproca complementaria de determinadas estructuras moleculares.

Para dar idea de la esencia del mecanismo de la síntesis matricial hasta en su aspecto más esquemático hay que operar, inevitablemente, con algunos conocimientos al parecer rigurosamente químicos. Procuraremos reducirlos al mínimo y estimamos que esta desviación de la línea expositiva general se justifica por la importancia extraordinaria del problema.

La función rectora, en la síntesis matricial, corresponde a los ácidos nucleicos; son ellos, precisamente, los que constituyen el fundamento material de la matriz. En la composición de los ácidos nucleicos entran cuatro tipos de bases nitrogenadas: adenina, guanina, citosina y timina o bien uracilo, designadas abreviadamente por sus letras iniciales *A*, *G*, *C*, *T* y *U*. Con residuos de ácido fosfórico y de hidrato de carbono, es decir, en forma de los denominados nucleótidos, forman cadenas de enorme longitud, que contienen desde decenas hasta centenares de miles de eslabones que se alternan en secuencias rigurosamente determinadas, específicas en cada caso. Algunas bases pueden influirse recíprocamente formando un tipo especial de enlaces químicos: enlaces de hidrógeno. Esto se produce con una rigurosa selectividad. Sólo se forman parejas complementarias, en las que las estructuras moleculares en cierto modo se completan entre sí. *A* puede combinarse sólo con *U* (o con *T*), y *G* sólo con *C*.

Comenzaremos examinando la síntesis matricial de los mismos ácidos nucleicos, que se produce como sigue. En la molécula de ácido nucleico preexistente (es ella, precisamente, la que desempeña la función de matriz) están situados, en consonancia con la regla de la complementariedad y en el orden establecido en la matriz, unos nucleótidos. Como quiera que se hallan próximos unos de los otros, los nucleótidos, bajo la acción de un fermento especial, la polimerasa, se unen con sólidos enlaces químicos, y se forma, como resultado, una cadena de eslabones: una nueva molécula de ácido nucleico. De la molécula matriz se obtiene como una copia, la nueva molécula de ácido nucleico, que posee una estructura rigurosamente determinada por la estructura de la primera. En este mecanismo se funda la duplicación del material genético (ADN) cuando se divide la célula, y por el mismo procedimiento, sobre la base del ADN de la matriz, se sintetiza un tipo especial de ácido nucleico (el denominado de información) que desempeña a su vez el papel de matriz (por decirlo así, de segundo orden) en el proceso de la síntesis matricial de la proteína. En este caso, el mecanismo del fenómeno se complica con eslabones complementarios, pero el principio fundamental se conserva.

En la síntesis de la molécula de proteína el orden riguroso de la

unión recíproca de los aminoácidos se asegura gracias a un mecanismo especial de la reacción. Sirve como primera etapa de dicho proceso la formación de una "marca" nucleótida en los aminoácidos mediante la anexión de estos últimos a ácidos nucleicos de tipo especial, denominados transportadores (de peso molecular poco elevado; se designan mediante el símbolo ARNt). Dichos ácidos nucleicos contienen una agrupación de tres nucleótidos (triplete) característica precisamente del aminoácido dado. A costa de este triplete, la molécula ARNt, con el aminoácido que se le ha agregado, encuentra un triplete que la complementa en la composición del ARN de información (matricial) y se enlaza con él, con lo que fija el lugar, dado en la matriz, del correspondiente aminoácido.

Después, entre los aminoácidos que se encuentran en una proximidad inmediata, surge el denominado enlace péptido, que figura en la base de la estructura de las proteínas, se forma una cadena de polipéptidos, la cual, cuando alcanza la longitud requerida, se convierte en molécula de proteína. La individualidad de la molécula de proteína se halla determinada por el orden en que están situados los aminoácidos en la cadena de polipéptidos. Crean este orden y la posibilidad misma de la unión de los aminoácidos, el ácido nucleico matricial y su estructura molecular: el orden en que se alternan los nucleótidos. La secuencia de los nucleótidos en el ADN predetermina el resultado de las correspondientes síntesis matriciales, y decimos que en la estructura química del ADN está grabada la información que asigna una estructura determinada a las proteínas que se han de sintetizar y, en final de cuentas, asegura su síntesis.

De esta suerte, en la síntesis matricial se juntan el flujo de la materia y el flujo de la información. El primero, en forma de síntesis de las partes componentes más importantes de la sustancia de los sistemas vivos, las proteínas y los ácidos nucleicos; el segundo, en forma de fijación de determinadas indicaciones en la estructura química de las macromoléculas de los ácidos nucleicos. Más abajo volveremos a tratar del segundo de estos aspectos, pero aquí recalcaremos una vez más la gran importancia del principio de la síntesis matricial como atributo específico de la vida. En este principio, la facultad de reproducirse de la materia viva obtiene su interpretación en términos químicos a nivel auténticamente molecular. La naturaleza ha resuelto aquí una tarea de enorme complejidad, a la vez que de un significado clave para todo el problema de la vida: la reproducción de moléculas gigantes sin las cuales la vida es imposible, de moléculas que contienen millares y hasta centenares de miles de eslabones, con la particularidad de que el mecanismo de la reproducción asegura que se conserve con una exactitud máxima el orden de la disposición recíproca y de la alternancia de dichos eslabones.

Iríamos demasiado lejos si empezáramos a afirmar que en la síntesis matricial tiene su asiento la esencia de la vida. Mas podemos decir con toda seguridad que sin la síntesis matricial sería imposible la vida tal como la conocemos en nuestro planeta.

Al hablar del principio de la síntesis matricial es necesario darse

perfecta cuenta de que dicha síntesis se produce con la participación de dos elementos que forman pareja: la matriz y el fermento. Son, por tanto, erróneas las formulaciones, por desgracia muy en boga, según las cuales el ADN, por ejemplo, es una "molécula que se autoduplica". En realidad, el ADN por sí mismo, en ausencia del fermento adecuado, no posee capacidad alguna de "autoduplicación". La reacción duplicadora se produce gracias al efecto catalizador del fenómeno de la polimerasa.

Dejando aparte muchos otros rasgos, menos esenciales, que caracterizan el flujo de la materia en los sistemas vivos, es necesario subrayar una vez más la función predominante de las proteínas. Su valor esencial se reflejó ya en las primeras investigaciones, cuando a estas sustancias se les dio el nombre de "proteínas" (del griego πρωτοζ, lo primero de todo). Con suma clarividencia, adelantándose en mucho al nivel de las concepciones de su tiempo sobre el quimismo de los objetos vivos, Engels recalcó el papel capital de la albúmina[7] y postuló el enlace indisoluble de los fenómenos de la vida con la existencia y las transformaciones proteicas. En el aspecto puramente cualitativo, las proteínas forman el elemento predominante de la sustancia material de los objetos vivos. Además, una gran parte, asimismo preponderante, es la de aquellas que poseen propiedades catalizadoras, es decir, la de las proteínas-fermentos. Y es, precisamente, la acción de las proteínas-fermentos la que pone en movimiento el inmenso conjunto de transformaciones químicas que constituyen lo que denominamos metabolismo. Las proteínas representan, pues, tanto la base sustancial como el principio motor de todo el flujo de la materia. Gracias a la variedad de sus propiedades físicas y químicas en particular gracias a su naturaleza macromolecular y a la facultad de construir formaciones tridimensionales, las proteínas desempeñan un papel decisivo en la organización estructural de los sistemas vivos. Finalmente, como veremos más adelante, les pertenece asimismo un importante lugar en el cumplimiento del flujo de la información y en la realización de las importantísimas tareas reguladoras e integradoras que determinan el carácter integral de todo objeto vivo.

El flujo de la energía

Mientras que en lo que atañe al flujo de la materia se han descubierto algunos rasgos de esencial importancia no sólo desconocidos sino ni siquiera sospechados hace poco tiempo, en lo que se refiere al flujo de la energía el hecho se ha producido en grado sensiblemente menor. La base de la biogenética radica en la energía de las transformaciones químicas. Sólo en dos casos —en la fotosíntesis y en la captación de la luz (fotorrecepción)— participa la energía radiante, mas su papel queda circunscrito a la etapa inicial, en la que la energía de los fotones se convierte en energía química como resultado de los cambios que se empiezan a producir en la estructura electró-

(7) Ver, por ejemplo, C. *Marx* y F. *Engels*, "Obras", t. XX, pág. 82. ("Obras escogidas en dos tomos", edic. cit., t. II, pág. 67).

nica de las correspondientes sustancias sensibles a la luz, la clorofila o la púrpura visual. Sigue luego una cadena de reacciones químicas lo mismo que en todos los demás procesos de la actividad vital.

Uno de los rasgos característicos de la energética de lo vivo consiste en la variedad de las transformaciones de energía que se producen cuando se realizan diversas funciones biológicas; otra particularidad consiste, en cambio, en la combinación de esta variedad con elementos de unificación de ciertos eslabones fundamentales del flujo energético. La unificación es una consecuencia de que, en calidad de fuente inmediata de energía para las manifestaciones más diversas de la actividad vital, actúan combinaciones que contienen enlaces químicos ricos en energía (macroergéticas, según se las ha llamado). Se trata en primer lugar de combinaciones de ácido fosfórico, la más importante de las cuales es el ácido adenosintrifosfórico (que se representa abreviadamente mediante el símbolo *ATP*). La energía de las combinaciones macroergéticas desempeña el papel de una especie de "moneda energética de cambio" que sirve para cubrir los gastos de energía que se necesitan al realizarse muchos procesos químicos de metabolismo, en particular casi todas las reacciones de síntesis, así como, prácticamente, todas las funciones biológicas.

No constituirá ninguna exageración decir que todo el flujo de energía que entra en un sistema vivo, desde el mundo circundante, en forma de energía química de las sustancias alimenticias, y el que se libera en las reacciones exotérmicas de intercambio tales como la respiración celular, es decir, la oxidación de las combinaciones orgánicas, o en los procesos de desintegración anaerobia, es decir, de fermentación, pasa, en el ciclo de las transformaciones vitales, por el estadio de los enlaces macroergéticos ATP. A esa misma forma se convierte la energía radiante en la fotosíntesis. La unificación del cambio energético, el paso de todo el flujo de la energía en una determinada zona por el estrecho cauce de un tipo único de enlaces moleculares, da un carácter específico a este aspecto de la existencia de los sistemas vivos. En cierta medida, merece que se le incluya en el número de los atributos de la vida.

Junto a este elemento, de unificación, que acabamos de señalar, en la energética de los sistemas vivos, nos encontramos, como hemos señalado ya más arriba, con una gran variedad de transformaciones de energía. Sus ejemplos son del dominio común, y podemos limitarnos a la simple enumeración de algunos de ellos. Citaremos la transformación de la energía química en trabajo mecánico que se da en todos los tipos de movimiento (por ejemplo, de los flagelos y de los organismos inferiores) o, en un volumen particularmente grande, durante el trabajo muscular. Los procesos de desplazamiento del agua o los cambios de concentración de las sustancias disueltas, así como todas las clases de transporte activo de sustancias a través de membranas cuando se han de superar gradientes de concentración, exigen que se realice un trabajo osmótico. Cuando funcionan los elementos del sistema nervioso en el proceso de transferencia de los impulsos nerviosos surgen fenómenos eléctricos que a veces pueden alcanzar

índices sumamente elevados, por ejemplo cuando se descarga el órgano eléctrico de algunos peces. La conservación del estado metaestable, característico de los seres vivos, sería inconcebible por un tiempo algo largo si no lo mantuviera un flujo de energía.

Entre todas las formas de energía capaces de producir trabajo sólo el tránsito a la forma térmica puede realizarse directamente sin la participación de mecanismos especializados de ninguna clase. En todos los demás casos, la transformación de una especie de energía en cualquier otra requiere la existencia de determinados dispositivos físicos del más diverso grado de complejidad. Respecto a los sistemas vivos, nuestros conocimientos acerca de la esencia de los mecanismos primarios que participan en las transformaciones de energía todavía son muy exiguos. Como quiera que los flujos energéticos en los sistemas vivos pertenecen al número de las particularidades esenciales de la vida, es en alto grado sensible la laguna en el conocimiento de esas leyes.

Cuando se examina el problema del tránsito de las moléculas a un estado de excitación como consecuencia del paso de electrones a niveles energéticos más elevados con absorción de cuantos o con devolución de electrones a las órbitas estables, en realidad sólo disponemos de representaciones bastante concretas para los casos de los tránsitos cuánticos en la estructura electrónica del átomo. Al hablar de los tránsitos de este género en las moléculas pensamos en los procesos, ya mencionados, que implican la participación de fotones, por ejemplo, la fotosíntesis, los fenómenos de luminiscencia y la percepción de la luz. En cuanto a otras formas de transformación de energía en los sistemas vivos, también enumeradas más arriba, nuestros datos se limitan al registro de los efectos externos, a la confrontación de los estados inicial y final, con la particularidad de que carecemos de los conocimientos necesarios acerca de los mecanismos por medio de los cuales se cumplen las etapas intermedias de las transformaciones energéticas.

Los éxitos enormes, sin igual, que las ciencias naturales han alcanzado durante los últimos decenios en el estudio de las leyes de la vida relacionadas con los flujos de la materia y de la información y que permiten hablar con pleno fundamento de causa del advenimiento de una nueva era en el conocimiento del mundo de lo vivo, hacen más patentes la insuficiencia y el carácter fragmentario de las representaciones que atañen al flujo de energía. No hay duda alguna de que en un futuro inmediato los esfuerzos de los investigadores se orientarán hacia este campo. Si en él los éxitos que se obtengan son tan relevantes como los alcanzados en los sectores que hoy se cultivan intensamente, se habrá dado un nuevo paso hacia la honda penetración en las ignotas zonas de la vida.

El flujo de la información

En las representaciones concernientes a los flujos de la materia y de la energía hemos podido ver la combinación de concepciones

clásicas, asentadas, con otras que se distinguen por su novedad y que aportan un elemento de carácter revolucionario. A diferencia de lo que ocurre en estos dominios, la idea de flujo de información es por completo un fruto de los éxitos de las ciencias naturales del último período, es un resultado de la penetración de las concepciones cibernéticas en el campo de la biología, pues aunque la teoría de la información haya nacido antes que la cibernética, constituye uno de los fundamentos de esta ciencia.

Al examinar el flujo de la información al lado de los flujos de la materia y de la energía, hemos de hacer una salvedad. No hablaremos de aspectos matemáticos, como se tratan, por ejemplo, en los trabajos clásicos de Shannon, dedicados a la teoría matemática de la comunicación y destinados a resolver determinados problemas de carácter técnico. Los aspectos matemáticos de la teoría de la información todavía no encuentran aplicaciones precisas en el análisis de los fundamentos elementales de los fenómenos de la vida, aunque existen motivos fundados para suponer que gracias a la universalidad de los principios de dicha teoría, su desarrollo abrirá posibilidades a las aplicaciones aludidas, que cada vez serán más amplias y más profundas. Pero actualmente, para nuestros fines, lo propio es circunscribirse a los elementos de orden cualitativo que caracterizan, según la definición de A. N. Kolmogórov, a los sistemas capaces de captar, conservar y elaborar información así como de utilizarla para dirigir y regular.

El valor metodológico de la idea de flujo de información es inmenso. En esta idea se halla, en particular, concentrada y en muchos sentidos concretada en grado extremo, precisamente en el ejemplo de sistemas vivos (que representan, como es notorio, el nivel superior del desarrollo de la materia), una tesis filosófica cuya trascendencia subrayaba Lenin, la tesis de que el enlace de los acontecimientos forma "eslabones en la cadena del desarrollo de la materia".(8)

La información está siempre vinculada a un portador real, un objeto o un acontecimiento, y, como es lógico, el flujo de información en los sistemas vivos no constituye una excepción de esta regla. Al contrario, puede servir de ejemplo convincente de que ambos flujos, el de información y el de materia, se combinan. En los sistemas vivos, la información se da en formas distintas. Entre las más importantes tenemos la forma que desempeña su papel en los procesos reguladores. N. Wiener, fundador de la cibernética contemporánea, ha dicho que toda regulación, tanto en el organismo vivo como en la máquina, depende de la conexión, y si ésta existe, cualquiera que sea su tipo, se transmiten cantidades de información mensurables.

Los principios de ordenación y de autorregulación se manifiestan en la actividad de cualquier sistema vivo y, por ende, en su existencia. Su cumplimiento sólo es posible si se da un determinado conjunto de enlaces que confiere cierta unidad e integridad a la pluralidad compleja, con la particularidad de que la formación del sistema lleva

(8) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 143.

al nacimiento de nuevas propiedades que faltan en los elementos componentes del sistema dado. Esto se expresa en el conocido principio de que el todo es mayor que la suma de sus partes. El flujo de información resulta ser, en su base, la manifestación de tal conjunto de enlaces que une los componentes individuales del sistema vivo y sirve para transmitir determinadas señales entre ellos. El valor fundamental pertenece a las correlaciones que presuponen el nacimiento de retroconexiones, o dicho con más exactitud, presuponen una acción recíproca, mutuamente orientada, que constituye la base de todos los mecanismos de autorregulación.

El carácter de los canales por los que se precipita el flujo de la información es diverso, los tipos de su funcionamiento son diferentes. Hay que considerar, sin duda alguna, como importante aportación de las ciencias naturales contemporáneas al conocimiento de las peculiaridades específicas de lo vivo, el haber descubierto el carácter universal del flujo de la información como componente de los fenómenos de la vida, y el haber hallado formas completamente nuevas en que dicho flujo se realiza y que se producen, sobre todo, en el nivel molecular.

Desde hace mucho tiempo se conocen dos tipos de transmisión informativa en los objetos vivos (en los organismos superiores): el sistema nervioso y el humoral de transmisión de señales. No vamos a tratar de ellos, pues forman una zona de niveles sumamente elevados de organización biológica, más allá de los límites de nuestro examen. Además, en los últimos tiempos no se han descubierto, en dicha zona, principios nuevos de ninguna clase. Nuestra atención se centra en fenómenos que se encuentran próximos sobre todo a las manifestaciones primarias de la vida y que se desenvuelven fundamentalmente en el nivel molecular. Téngase en cuenta que el hecho mismo de haber descubierto fenómenos de transmisión informativa en el nivel de las estructuras moleculares ha de apreciarse como uno de los magnos acontecimientos que han abierto una nueva época en la biología contemporánea. Entre todas las especies de información que se transmiten por medio de las interacciones moleculares, la que presenta mayor interés es la genética, pues rebasa los límites del objeto biológico individual y se extiende a la secuencia infinita de las generaciones.

La esencia del funcionamiento del código genético estriba en que la suma de la información hereditaria que se transmite, en el proceso de la división celular, de la célula madre a las células hijas y que determina el conjunto de todas las propiedades del organismo superior en el transcurso de su desarrollo, está contenida en el ADN del núcleo celular. Es a todas luces evidente que actúa en este plano el principio de grabar, conservar y transmitir la información totalmente con recursos de la estructura molecular. Si tenemos en cuenta que en las moléculas de ADN de un espermatozoide y de un óvulo está contenida toda la información que determina el desarrollo del organismo superior hasta el hombre, podremos hacernos cargo del insólito grado de miniaturización alcanzado por la naturaleza en la resolución de una tarea capital: la conservación de la individualidad tipo a la

vez que se mantiene la vida en la Tierra. Esto se ha alcanzado utilizando precisamente la grabación química realizada en el límite mismo de la divisibilidad material, en la que todavía se conserva la individualidad de la sustancia química, en el nivel de las moléculas.

Más arriba hemos caracterizado el principio de la síntesis matricial como uno de los atributos, recientemente descubiertos, de lo vivo. Ahora podemos decir que por su propia esencia el principio matricial constituye un flujo de información en su forma estructural molecular, información que se manifiesta en la autorreproducción de los organismos vivos, por una parte, y, por otra parte, al realizarse la información hereditaria en los procesos de síntesis de proteínas específicas.

En la síntesis matricial se revela la misión biológica principal de los ácidos nucleicos: en grado en absoluto predominante constituyen la base material, estructural-molecular, de uno de los cauces decisivos del flujo informativo. En ello tenemos un ejemplo clarísimo de la especialización funcional molecular vastamente difundida en la naturaleza viva.

De lo dicho resulta comprensible por qué los ácidos nucleicos son, junto con las proteínas, componentes inseparables de los sistemas vivos: sin flujo de información la vida es imposible, y sin los ácidos nucleicos no es posible el movimiento de dicho flujo en uno de sus sectores clave. Ahora bien, aunque el papel biológico de los ácidos nucleicos, por lo menos en sus rasgos fundamentales, se termina asegurando un determinado sector del flujo de información, por importante que dicho sector sea, no abarca todo el flujo de información en su conjunto. Al contrario, sus mecanismos no quedan de ningún modo circunscritos a los procesos de la síntesis matricial.

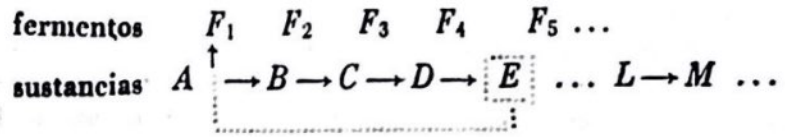
Las propiedades de ordenación de lo vivo se conservan mediante la fina regulación del comportamiento de todos los fermentos que participan en el flujo de la materia, lo cual se manifiesta en la capacidad de responder a diversos cambios tanto de las condiciones externas como de las necesidades internas determinadas por la variedad de funciones del organismo vivo. La regulación y dirección d todos los eslabones de la dinámica material del sistema vivo se apoyan en mecanismos informativos, en canales señalizadores de enlace que captan y elaboran la información. Hasta ahora, sólo en un limitado número de casos se ha logrado comprender los principios a que obedecen la regulación y la dirección aludidas, por no hablar ya de datos más detallados acerca de sus eslabones. De las futuras investigaciones esperamos el descubrimiento de nuevas leyes concernientes a la regulación del flujo de la materia y del flujo de la energía, indisolublemente ligado al primero.

Muy recientemente se ha dado un gran paso en el conocimiento de los mecanismos de regulación. Ha de considerarse como un acontecimiento de suma trascendencia el haber descubierto una categoría totalmente nueva de fenómenos que constituyen una de las zonas clave en el flujo de la información biológica. Nos referimos a los mecanismos reguladores basados en el principio de las denominadas acciones recíprocas aloestéricas. Se han descubierto al estudiar cadenas infor-

mativas que se dan en algunos procesos de fermentación y que poseen en su base rasgos típicos de los sistemas con retroconexiones negativas.

Mecanismos moleculares de regulación de los procesos biológicos

Al investigar un gran número de reacciones fermentativas multiescalonadas en las que cada etapa subsiguiente transcurre bajo la acción de un fermento especial, se descubrió un fenómeno peculiar que no se encuentra en las reacciones químicas no biológicas iniciadas por catalizadores. Se ha visto que muy a menudo el producto de una etapa con frecuencia separada del eslabón inicial de la cadena ejerce una fuerte acción frenadora, rigurosamente específica, sobre el fermento que se encuentra al comienzo de la cadena. El hecho puede representarse esquemáticamente como sigue:



En este esquema, el producto B, formado con la sustancia inicial A por la acción del primer fermento F_1, sirve de substrato para la acción del siguiente fermento F_2, y así sucesivamente. El proceso podría seguir de manera infinita si uno de los productos intermedios (en nuestro caso E) no actuara como inhibidor del fermento inicial F_1. Y si ese producto no se somete luego a transformación con suficiente rapidez, frenará el curso de todo el proceso, es decir, ejercerá una determinada acción reguladora que se efectúa según el principio de la retroconexión.

En la ciencia ya se conocían casos de frenado específico de fermentos por combinaciones químicas a bajo nivel molecular, en su mayor parte de estructura afín a la de los substratos normales en que el fermento dado actúa. El efecto inhibidor de los denominados antimetabolitos se basa en la afinidad de estructura química con el substrato y, por ende, con el grupo catalítico del fermento, grupo al que los metabolitos encadenan, con lo cual obstaculizan la acción recíproca del fermento con el substrato. Este fenómeno que se denomina frenado de concurrencia no sólo es típico de los procesos catalíticos fermentativos, sino que puede descubrirse también en las reacciones habituales.

En cambio, en el tipo de frenado a que nos hemos referido más arriba, radicalmente distinto de los fenómenos de frenado de concurrencia, el producto que frena (inhibidor) es por completo diferente, en su naturaleza química, del substrato del fermento sometido a la acción de frenado. Por este motivo, la acción del inhibidor no se orienta hacia la agrupación catalítica del fermento. El inhibidor, al unirse con la macromolécula de la proteína-fermento provoca un cambio en la configuración espacial de la molécula del fermento y

con ello altera intensamente su función catalítica. Este efecto se ha denominado regulación aloestérica, es decir, regulación condicionada por la adquisición de una nueva conformación de la molécula.

Es necesario destacar el extraordinario valor heurístico del concepto de acciones aloestéricas. De modo análogo a lo que sucede con el principio de la síntesis matricial, en los fenómenos del efecto aloestérico nos encontramos con aspectos totalmente nuevos, antes desconocidos, de lo vivo.

En el efecto aloestérico se concreta el carácter de las relaciones entre las combinaciones macromoleculares, —en primer lugar de las proteínas, la base sustancial, que se conserva largo tiempo, de los sistemas vivos —y los componentes moleculares a bajo nivel del rápido flujo de la materia constituido por variados procesos metabólicos. Mediante la interacción aloestérica se abren los caminos para que se realicen los numerosos enlaces entre los productos intermedios del metabolismo a bajo nivel molecular (metabolitos), productos que de otro modo no entran en acción química directa entre sí. A la luz de las representaciones aloestéricas se perfilan, en particular —cosa que puede ser de gran trascendencia— posibilidades de interpretar el mecanismo con que actúan los factores más importantes de la información hormonal, y, precisamente, de las hormonas producto de secreción interna. Hasta ahora, la dificultad principal para explicar las vías y los procedimientos del mecanismo de la acción de las hormonas sobre muchos procesos metabólicos consistía en que no había manera de incluirlas en ecuaciones químicas que expresaran, por ejemplo, la esencia de las reacciones fundamentales del metabolismo de los hidratos de carbono en el caso de la insulina y de la adrenalina, o de las reacciones de metabolismo energético, por ejemplo, de la fosforilación oxidativa en el caso de la hormona de la glándula tiroides.

Otra significación, no menos relevante, de la teoría relativa a los mecanismos aloestéricos consiste en que por medio de dichos mecanismos se descubre la esencia de la forma peculiar en que las proteínas participan en la realización del flujo de información, con la particularidad de que se trata de uno de sus cauces principales. La integración de los tres flujos, que hemos subrayado ya reiteradamente, obtiene en este caso una expresión netamente esbozada.

Las estructuras moleculares y la organización biológica

El haber comprobado el papel decisivo de la configuración espacial de las macromoléculas proteicas ha obligado a fijarse en una nueva categoría de factores que todavía no hemos examinado y que determinan, en su conjunto, uno de los atributos esenciales de los sistemas vivos: su organización estructural tridimensional, espacial. Nos encontramos, en este campo, con una gradación casi inabarcable de niveles de creciente grado de complejidad, desde la estructura de las moléculas individuales hasta la organización integral del organismo superior. Como contrastando con la importancia extraordinaria

de esta faceta de lo vivo, nuestros conocimientos sobre sus auténticas bases aparecen todavía enormemente limitados, casi no contienen más que caracterizaciones descriptivas de ciertas formas de organización estructural y apenas se refieren a las leyes de su aparición. Es indudable que no nos encontramos ante una simple secuencia de niveles que se forman autonómicamente, sino ante un proceso de desarrollo que transcurre de una manera determinada y va de las formas inferiores a las superiores, es decir, ante cierta jerarquía de estructuras.

Algunos autores incluyeron un hipotético "campo biológico" en el número de principios que orientan el nacimiento de tales o cuales niveles de organización de lo vivo. Esta concepción fue el resultado de establecer una analogía externa con las representaciones físicas de campo eléctrico o magnético, de campo gravitacional, etc. Sin embargo, el contenido fáctico del concepto de campo aplicado a la biología no daba profundidad a los conocimientos sobre la esencia de las fuerzas que actúan en los organismos vivos, antes bien ocultaba nuestra ignorancia. Estas concepciones pertenecen a la categoría de los postulados arbitrarios y han resultado estériles en cuanto estímulos para la realización de experimentos y de fundamentaciones teóricas. Poseían un claro matiz de carácter metafísico, que se revelaba, por ejemplo, en el hecho de acomodarse con representaciones como la de entelequia.

Al reconocer la secuencia material de gradaciones en las estructuras biológicas, es necesario subrayar que la jerarquía a que hemos hecho referencia más arriba tiene un orden peculiar, si se quiere inverso del que suele encontrarse más habitualmente en las series jerárquicas: no es la forma superior la que da sus indicaciones al nivel inferior, sino viceversa: la estructura de nivel inferior contiene elementos que determinan los rasgos de una organización más elevada. Actualmente, este hecho sólo se pone de manifiesto en las etapas más elementales, que responden al nivel molecular o al que le es contiguo, pero no hay duda de que las leyes descubiertas en estos niveles constituyen el reflejo particular de un principio universal.

El punto de partida de la gradación de las estructuras que se van haciendo más complejas en los sistemas vivos es la denominada estructura química primaria de las moléculas de las dos clases principales de biopolímeros: las proteínas y los ácidos nucleicos. Se entiende por dicha estructura química el orden en que están dispuestos los elementos estructurales primarios, los aminoácidos o los nucleótidos en la cadena polímera de las correspondientes macromoléculas. La fórmula de la estructura química de una molécula de proteína o de un ácido nucleico suele representarse como estructura unidimensional. De hecho, en cambio, la macromolécula adopta una estructura de tres dimensiones rigurosamente determinada, se produce la espiralización de la cadena lineal o su doblegamiento, sujeto a ley, en la denominada estructura secundaria. El siguiente peldaño, que se designa como estructura terciaria, surge cuando la base lineal de la macromolécula, poseyendo la estructura secundaria, adquiere una configuración todavía más compleja, tridimensional, que se caracteriza, a su vez, por una disposición espacial específica. La estructura

cuaternaria es el resultado de la asociación, sujeta a ley, de moléculas individuales que conservan su estructura terciaria, en complejos multimoleculares rigurosamente determinados.

Surge, como es lógico, un interrogante: ¿Qué es lo que determina que una sustancia, en el caso presente un biopolímero, adquiera estructuras ordenadas de un creciente grado de complejidad? Las investigaciones actuales dan a la pregunta una respuesta completamente precisa. En ese proceso lo que sirve de factor decisivo es el principio de garantía de un mínimo de energía libre. La estructura primaria de la molécula polímera se crea por enlaces de las valencias principales de afinidad química, que poseen gran firmeza. En cambio, todos los niveles siguientes de organización estructural se basan en fuerzas de interacción débil. Por una parte se trata de enlaces de hidrógeno; por otra parte, de fuerzas de carácter preferentemente electrostático: fuerzas de Van-der-Waals, fuerzas dipolares, y fuerzas de interacciones hidrófobas. Para la formación de esos tipos de enlaces han de existir moléculas con determinados rasgos estructurales: los enlaces hidrófobos surgen entre moléculas apolares, los enlaces de hidrógeno requieren la existencia de determinadas estructuras electrónicas, etc. Las condiciones para que surjan los enlaces de este género se hallan, correspondientemente, en la estructura química primaria. En ella —es decir, en el nivel inferior a la vez que el más firme y el determinado con mayor rigor—, está contenida la información que dirige el nacimiento de los siguientes peldaños de organización estructural. Cuando se forman los enlaces débiles indicados más arriba, disminuye la energía libre del sistema. De ahí que el proceso de formación de estructuras de orden más elevado exija la reducción de la energía libre hasta el mínimo tolerado por la estructura primaria. Esta exigencia física actúa como factor principal de estructuración de los sistemas vivos, por lo menos en los niveles más primarios, que se aproximan al nivel molecular.

Destaquemos el carácter dialéctico de la peculiar situación que se crea: surge una contradicción entre dos tendencias opuestas. Por una parte, en la serie de estructuras biológicas de creciente complejidad, tenemos una manifestación clara del principio de ordenación, en cierto modo como a despecho del segundo principio de la termodinámica. Mas, por otra parte, como hemos visto, lo que sirve de fuerza motriz que conduce al incremento de la ordenación estructural es la tendencia a alcanzar el mínimo de energía libre, es decir, a incrementar la entropía, lo cual se asigna precisamente al segundo principio. Tal contradicción ha de resolverse, evidentemente, por la correlación cuantitativa de las magnitudes que caracterizan a las dos tendencias. La ciencia no dispone todavía de las mediciones correspondientes, pero es de suponer que, en final de cuentas, la ganancia en entropía al formarse los enlaces estructurales es más importante que la disminución de la misma ocasionada por el surgimiento de la ordenación estructural.

Si nos abstraemos de las posibilidades que se ofrecen a la actual investigación, dado el nivel de conocimientos alcanzado, cabe inferir

la siguiente conclusión: conociendo todos los parámetros energéticos que caracterizan a una macromolécula en consonancia con su estructura primaria, en principio es posible predecir, a priori, la configuración espacial que la molécula tomará si se deja que cambie por sí misma. Existen ya pruebas de que esta afirmación audaz no es infundada. Los medios corrientes de que disponemos no sirven para efectuar los cálculos necesarios. Mas los potentes computadores electrónicos permiten obtener, partiendo del conocimiento de la estructura química primaria, la representación gráfica de la estructura tridimensional de ciertas especies de macromoléculas. La comparación de los resultados obtenidos con los datos que sobre tales moléculas ha proporcionado el análisis estructural por rayos X muestra grandes rasgos de semejanza.

El hecho, de importancia radical, de que los componentes primarios de las estructuras biológicas lleven en sí los elementos informativos que determinan el nacimiento de la ordenación en un nivel superior, lo confirma con toda evidencia la posibilidad de los fenómenos del denominado automontaje. El fenómeno estriba en que si, mediante las intervenciones correspondientes, se descomponen agregados moleculares de compleja construcción, es decir, si se destruye la estructura cuaternaria, y se restablecen luego las condiciones favorables debidas, se produce un "automontaje", es decir, surge de nuevo la arquitectura molecular inicial, a menudo muy compleja, en alto grado ordenada. Resulta posible hacer extensible este procedimiento a formaciones estructurales como los virus bacteriales (bacteriófagos), los virus de plantas y de animales, e incluso a tales partículas subcelulares como los ribosomas. En todos los objetos citados se logra observar fenómenos de "automontaje", y la prueba de que este proceso es totalmente válido nos la ofrece el hecho de que se restablece la actividad biológica inicial. El flujo de información, iniciado en el nivel de las estructuras moleculares, cala en los peldaños siguientes de la jerarquía estructural y aporta un elemento de rigurosa determinación a toda la esfera de la organización espacial de los sistemas vivos.

Conclusión

Entre los relevantes éxitos de la ciencia contemporánea en el conocimiento de las particularidades específicas de los objetos vivientes, se cuentan los resultados obtenidos en la producción sintética de los componentes más importantes de los sistemas vivos. La experimentación química actual ha abierto posibilidades que parecían casi irrealizables hace todavía muy poco tiempo. Ha resultado un hecho la síntesis de una molécula proteica: la hormona insulina. De ello se sigue con clara evidencia la conclusión de que, en principio, es totalmente real la síntesis de la molécula de una proteína-fermento. Para fermentos como la lisozima o la ribonucleasa, de peso molecular relativamente bajo, la solución de ese problema probablemente es

cuestión de un futuro próximo[9]. Si a la investigación de la síntesis química de los primeros fermentos —decía hace unos años el conocido bioquímico y genético, hoy fallecido, J. Haldane— se invirtieran recursos del mismo orden que los destinados a crear un nuevo modelo de avión de guerra, el fin se alcanzaría muy en breve, pues los obstáculos del camino que aún se ha de recorrer no son de principio, sino de carácter técnico.

Han avanzado mucho los trabajos sobre la síntesis química de los ácidos nucleicos, y es de suponer que los químicos pronto prepararán sintéticamente una matriz en la cual, utilizando los "mecanismos de montaje" biológicos de los ribosomas, podrán obtener proteínas de una estructura primaria dada que no se encuentra en la naturaleza. Algo análogo se ha realizado ya: aplicando el fermento correspondiente, sin intervención de la célula viva, se ha logrado sintetizar en la probeta ácidos nucleicos que han participado en la construcción de una partícula de virus bacterial (bacteriófago). Los preparados obtenidos poseen un rasgo importantísimo del virus natural: tienen propiedades infecciosas. Después de penetrar en la célula bacterial, llevan a la formación de su segunda parte componente, una proteína específica, se combinan con ella y forman una partícula viral de pleno valor.

Estos experimentos en cierta medida anticipan ya la respuesta a la pregunta de cuáles son las actuales perspectivas de obtener artificialmente mediante la experimentación química y física, aunque sea la formación viva más primitiva, es decir, a la pregunta de si es concebible la "síntesis de la vida". Hace todavía muy poco tiempo, el mero planteamiento de semejante cuestión parecía sin fundamento alguno. Actualmente, la situación ha cambiado por completo.

Al comienzo mismo de este artículo hemos señalado la situación paradójica que se ha creado en la búsqueda de respuesta a la pregunta: ¿qué es la vida? Resulta que no se ha hallado ni siquiera una respuesta exhaustiva a la pregunta de cuál es la diferencia entre lo que vive y lo inerte. Ahora nos encontramos con una paradoja de otro orden. Consiste en que obtendremos algo vivo tal vez sin saber hasta el fin qué es la vida. Esto, sin embargo, no ha de desarmarnos en lo más mínimo en nuestras búsquedas. No hay duda de que precisamente de este modo, como alterando la sucesión de las etapas lógicas, se dará el paso decisivo que nos aproximará al fin último: conocer la esencia de la vida. ¿Cabe dudar de que éste será el triunfo más extraordinario de las ciencias naturales de nuestro siglo?

---

(9) Esta predicción se trocó en realidad: a finales de 1968 se obtuvo la síntesis química de una ribonucleasa.

N. P. DUBININ
Académico

LA GENÉTICA CONTEMPORÁNEA A LA LUZ DE LA FILOSOFÍA MARXISTA - LENINISTA

Los adalides de las ciencias naturales en el presente siglo

La revolución de las ciencias naturales y de la técnica en la segunda mitad del siglo XX vuelve a plantear en toda su magnitud los problemas de la interpretación filosófica del ingente material acumulado por la ciencia. La humanidad ha entrado en una época de impetuoso desarrollo científico. La revolución en las ciencias naturales de hoy ha conducido a la ciencia a la resolución de los grandiosos enigmas del universo. Al desarrollo de la ciencia como fuerza productiva directa de la sociedad se halla vinculado el futuro del socialismo. Todo ello plantea en todo su alcance los problemas fundamentales de la filosofía de la ciencia.

Los problemas de la intelección filosófica del complejo material de la ciencia contemporánea y sus leyes, de la nueva situación de la ciencia en la vida de la humanidad y de su papel en la transformación del mundo afectan en primer término a las disciplinas, en vigoroso progreso, que han surgido en el siglo XX en el seno de la física, de la matemática, de la química y de la biología. A las disciplinas aludidas pertenece la genética, la cual, junto con otras ramas de la biología, ha alcanzado grandes éxitos y se aproxima al conocimiento de la esencia de la vida y a la creación de las condiciones que hagan posible la reproducción artificial de la materia viva.

Durante muchos siglos, las ciencias naturales, con su concepción espontáneamente materialista del mundo y con la utilización, asimismo espontánea, de los principios de la dialéctica, avanzó con dificultad por las intrincadas espesuras del idealismo, de la metafísica y del agnosticismo.

En el siglo XIX, Marx y Engels crearon el materialismo dialéctico, con lo que se abrieron posibilidades a la elaboración consciente de los problemas filosóficos de las ciencias dedicadas al estudio de la naturaleza.

A comienzos de nuestro siglo, dieron un gran impulso al desenvolvimiento de las ciencias naturales las ideas contenidas en el genial trabajo de Lenin *Materialismo y empiriocriticismo*. Lenin sometió a un análisis marxista los principios de la física que sucedían a las concepciones mecanicistas del siglo XIX, demostró que el desplome radical de las nociones de las ciencias naturales únicamente podía comprenderse recurriendo a la filosofía del materialismo dialéctico y puso de manifiesto la total inconsistencia de la interpretación idealista de los cambios revolucionarios que se producían en dichas ciencias. Fundándose en la unidad de la dialética de las cosas y la dialéctica del conocer, Lenin subrayó que la base objetiva del conocimiento radica en el universo infinito, en el número infinito de propiedades de las cosas, de las particularidades de los fenómenos y, por consiguiente, de los aspectos de su investigación. "El electrón — escribió Lenin —es tan *inagotable* como el átomo, la naturaleza es infinita..."(1)

Lenin mostró que la dialéctica materialista es la base del conocimiento de la esencia profunda de los fenómenos propios de una ciencia dada. Esta dialéctica no puede incorporarse a la ciencia desde el exterior ni pueden sustituirla los resultados empíricos de la ciencia, por grandes que sean. El materialismo dialéctico enseña que el camino del conocimiento de la naturaleza va del estudio de los fenómenos inmediatos al descubrimiento de su esencia, al conocimiento de sus leyes. Además, todo paso en el conocimiento de la naturaleza se comprueba en la práctica, y a través de esta comprobación lleva a la verdad. Lenin escribió: "De la contemplación viva al pensamiento abstracto y *de él a la práctica*, tal es el camino dialéctico del conocimiento de la *verdad*, del conocimiento de la realidad objetiva"(2).

Entre las ciencias que han experimentado un cambio radical de ideas se encuentra también la ciencia que estudia la vida. La genética ocupa en nuestros días una posición clave en la biología. En ese campo se ha llegado a un estadio en que han surgido posibilidades reales de conocer las leyes de la genética y, en consecuencia, de hallar la manera de dirigir la herencia, de influir sobre la formación de los organismos, de resolver muchos problemas que plantea la lucha contra las enfermedades, y de ampliar sensiblemente los recursos alimenticios de la humanidad. La elucidación del problema de la esencia de la vida a la luz de los datos que proporciona la nueva genética tendrá una repercusión colosal en la vida de la humanidad. De ahí que, junto a la matemática y a la física, la biología se sitúe en el primer plano de la ciencia y se convierta, también, en adalid de las ciencias naturales.

---

(1) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 277. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., pág. 290).

(2) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, págs. 152-153.

Sobre los fundamentos materiales de la herencia. El concepto de gene. La vida como forma especial de existencia de los sistemas materiales abiertos

En la base de la genética contemporánea se encuentra la teoría del gene. Esta teoría se ha creado tomando como fundamento los nuevos principios de la biología del siglo XX, de inmenso valor para el conocimiento materialista de la naturaleza. Dichos principios se han comprobado en la práctica experimental y en la práctica de la producción. Han revolucionado la vieja biología y han conducido al materialismo dialéctico en el conocimiento de la esencia de la vida. En este proceso de creación de la nueva biología ha resultado de importancia capital el haber desentrañado los fundamentos materiales de una propiedad de la vida tan esencial como es el fenómeno de la herencia.

El conocimiento de la naturaleza de fenómenos de la vida, cualesquiera que sean, exige que se descubran sus fundamentos físico-químicos. Lo indicaron los clásicos del marxismo. Así en la *Dialéctica de la naturaleza*, Engels escribió: "Sólo después de que estas diferentes ramas del conocimiento de las formas del movimiento dominantes en el campo de la naturaleza inerte hubieron alcanzado un alto grado de desarrollo podía abordarse con éxito la elucidación de los fenómenos del movimiento que representan el proceso de la vida. La explicación de estos fenómenos avanzó en la medida en que avanzaron la mecánica, la física y la química. De este modo, mientras que la mecánica está ya en condiciones, hace tiempo, de aclarar satisfactoriamente el funcionamiento de las palancas óseas del cuerpo animal... la explicación físico-química bien fundamentada de los demás fenómenos de la vida todavía se encuentra poco menos que en el estadio inicial de su desarrollo"(3).

Lenin señalaba que en la materia orgánica no hay nada fuera de los mismos átomos que constituyen la base de lo inerte. La cuestión está sólo en su organización especial, en un tipo especial de movimiento. En *Materialismo y empiriocriticismo* escribió: "...en forma claramente expresada, la sensación está ligada tan sólo a las formas superiores de la materia (materia orgánica) ...en realidad falta investigar una y otra vez de qué forma se relaciona la materia que supuestamente no está dotada de ninguna sensibilidad, con la materia compuesta de los mismos átomos (o electrones) y que al mismo tiempo está dotada de la capacidad claramente manifestada de sentir. El materialismo plantea esta cuestión, aun no resuelta, incitando así a su solución, incitando a nuevas investigaciones experimentales. El machismo, es decir, esta variedad del idealismo confuso, oscurece la cuestión y desvía del buen camino su estudio"(4).

El estudio de los fundamentos materiales de la herencia, es decir, de lo que constituye la esencia de la reproducción de las formas de

---

(3) *C. Marx* y *F. Engels*, "Obra", t. XX, pág. 391.

(4) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, págs. 39-40. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., págs. 37-38).

vida por generaciones, llevó a crear la teoría cromosómica de la herencia. La unidad básica de la vida es la célula, que posee núcleo y citoplasma. El núcleo contiene estructuras filiformes que son polímeros compuestos de proteínas y de ácidos nucleicos; dichas estructuras se denominaron cromosomas. Se puso en claro que son las sustancias de los cromosomas las que contienen preferentemente las estructuras materiales a las que se halla vinculado el fenómeno de la herencia de los organismos.

Los cromosomas han resultado profundamente diferenciados en estructuras cualitativamente distintas, denominadas genes. Los genes se encuentran en el cromosoma en orden lineal y cada uno de ellos tiene su estructura molecular. La teoría del gene se situó rápidamente en el centro de la biología teórica. Apareció un torrente de trabajos consagrados al estudio de la disposición de los genes en el interior de los cromosomas, a la investigación de su estructura, de la interacción de los genes en los procesos de desarrollo del ser, etc. Se vio que los genes son capaces de transformarse (mudar) de varias maneras, lo que llevó a crear la teoría de la mutación. Los nuevos datos de la genética indujeron a reestructurar los métodos de selección de plantas y de animales.

En nuestro país expuso y fundamentó magistralmente la penetración de la genética científica en la selección N. I. Vavílov.

La dialéctica marxista es la teoría general del desarrollo tanto de la propia materia (de la naturaleza y de la sociedad) como del reflejo de este desarrollo en la conciencia del hombre. En la historia de la biología, materialismo e idealismo han luchado entre sí a lo largo de dos milenios. El idealismo se aferraba tenazmente al fenómeno de la herencia presentándolo como propiedad no material de la vida.

La historia del desarrollo de la genética en el plano filosófico está repleta de contradicciones. Descubiertas las leyes de la herencia, fundadas la teoría del gene, la teoría de las mutaciones y la teoría cromosómica de la herencia, ocuparon el primer plano, durante largo tiempo, la metafísica y el idealismo envueltos en el ropaje de teorías como el machismo, el neovitalismo y otras, ajenas al materialismo, pero de moda en su día.

Para fundamentar los principios del materialismo dialéctico en biología han tenido un valor decisivo los éxitos alcanzados por la genética molecular durante los últimos quince años. Se ha descubierto la naturaleza química del gene. Resulta que el gene es una parcela de la molécula de ácido desoxirribonucleico (ADN). La cadena del ADN se compone de nucleótidos, que constituyen una combinación de un residuo de azúcar, un ácido fosfórico y una base nitrogenada. Los dos primeros componentes son iguales en todas las moléculas de ADN. El carácter específico de los genes está relacionado con las diversas combinaciones de las cuatro bases nitrogenadas, adenina, timina, citosina y guanina, que, en número de varios centenares de nucleótidos, entran en la composición de cada gene. El orden de las bases nitrogenadas en el interior del gene forma su código, es decir,

el lenguaje del sistema rector con cuyo concurso el gene, transmitiendo su información a la célula, determina una u otra parte del desarrollo y de la vida de esta última y del organismo en su totalidad.

El concepto de gene se ha llenado de contenido fisiológico y bioquímico. Se ha demostrado que el código del gene, es decir, su estructura molecular, programa en la célula la síntesis de las proteínas. Esta programación es compleja. Primero en la molécula del gene, como en una matriz, se sintetiza una molécula de un ácido ribonucleico especial, de información (ARN-i). Las moléculas de ARN-i en el proceso de su síntesis captan la información grabada en el gene. Luego, pasando a las estructuras citoplasmáticas denominadas ribosomas, dichas moléculas de ARN-i, en consonancia con el código del gene, colocan de manera específica los aminoácidos al sintetizarse la molécula de proteína.

Los genes mismos en cada generación celular se autoduplican, en lo cual desempeñan un importante papel proteínas bajo el aspecto de fermentos especiales. Mediante esta autorreproducción para cada nueva célula, los genes se construyen de nuevo con bases nitrogenadas y otras sustancias que se sintetizan en el citoplasma. Todo esto involucra a los genes en el metabolismo y los somete a la acción de los factores del medio exterior. El resultado es que los genes, estos bloques de información genética, sufren interminables cambios (mutaciones) por transformación de su estructura molecular.

El descubrimiento de la naturaleza química del material genético ha provocado cambios radicales en las representaciones clásicas del gene como corpúsculo indivisible, como unidad de función, de mutaciones y de recombinaciones. En realidad, el gene ha resultado ser un sistema complejo, estructural y bioquímicamente.

Las novísimas investigaciones llevadas a cabo han descubierto en la célula, en el marco del gene y en el complejo de genes (genotipo), un nuevo micromundo, de enorme complicación, que posee una unidad de integridad y de divisibilidad infinita. En conjunto, el genotipo constituye un "dispositivo programador" peculiar, que contiene información de acuerdo con la cual se realizan la vida de la célula, el desarrollo del ser y su actividad vital. Esta información hereditaria es el resultado del desarrollo histórico de la especie dada de organismos y la base material de su evolución futura. La teoría del código genético ha abierto amplias posibilidades a la introducción de métodos cibernéticos en la biología y al empleo de la modelación en gran escala.

La debilidad metodológica fundamental de la vieja teoría del gene radicaba en el mecanicismo y en la autogénesis. El mecanicismo intentaba afirmarse en la genética partiendo de la idea de la indivisibilidad del gene y considerando que el genotipo es un mosaico de genes y el organismo (el fenotipo) un mosaico de caracteres. En la vieja teoría del gene, la metafísica y la autogénesis se expresaban sobre todo en el hecho de considerar los genes como separados de los procesos de intercambio que existen en el organismo y de la acción de los factores del medio exterior, con lo cual se daba pie a la autogénesis y a que no se tuvieran en cuenta los nexos dialécticos entre lo interior y lo

exterior. En las viejas representaciones, todo gene se estimaba como eternamente igual a sí mismo, como un elemento invariable. Estos errores del pasado están superados. Ahora se plantean en todo su alcance el problema de la unidad de lo exterior y de lo interior, el problema del determinismo en el fenómeno de la mutación de los genes y el de la elaboración general de los principios materialistas dialécticos de la teoría del desarrollo para el conocimiento de los fenómenos de la herencia.

En la historia de la teoría del gene se refleja como en un espejo el papel de la filosofía en la evolución de la ciencia. A principios de siglo, bajo el influjo de la filosofía idealista, en la genética imperaba la autogénesis, teoría según la cual los genes no se desarrollan ni cambian por la acción de factores externos. Esto desviaba del camino acertado a la ciencia y a la práctica. Desde el punto de vista del materialismo dialéctico, semejante posición siempre se ha considerado errónea. G. A. Nadson, G. S. Filippov, G. Meller descubrieron experimentalmente que la radiación provoca una mutabilidad enorme de los genes. I. A. Rappoport y Sh. Auerbach mostraron la existencia de poderosos mutágenos químicos. Como resultado de todo ello, la teoría actual de las mutaciones se construye admitiendo la posibilidad de que cualquier gene sufra infinitos cambios y se desarrolle ilimitadamente.

Esta teoría ha abierto nuevos caminos a la práctica. A. A. Sapeguin y L. N. Delone han sido los primeros en obtener radiomutantes en el trigo. Actualmente, la selección mutágena de las plantas se practica en gran escala y contribuye a resolver problemas de tanta importancia como los de crear trigos inmunes, clases de plantas que no se encamen. etc. La nueva genética ha facilitado en gran medida el desarrollo de la industria de los antibióticos, de las vitaminas, de los aminoácidos y de toda una serie de otras sustancias.

Puede afirmarse con pleno fundamento de causa que la selección de microorganismos, base de la industria microbiológica, es obra de la genética molecular y de la teoría del gene. Los problemas biológicos de los lejanos vuelos de las naves cósmicas también se resolverán utilizando ampliamente los resultados de la genética. Lo mismo sucederá con los problemas que planteará la defensa de la herencia de las futuras generaciones humanas ante el aumento del fondo de radiación en la Tierra y ante los efectos nocivos de los factores mutágenos químicos y de otros tipos.

La genética, en la teoría del gene, superando los errores del idealismo y de la metafísica, ha entrado en una nueva vía iluminada por el materialismo dialéctico, y sobre esta base se han descubierto sus profundas conexiones con la vida y con la práctica.

Constituye un importante aspecto de los éxitos alcanzados en el estudio del gene el haber descubierto la universalidad de las bases materiales de la herencia en la vida toda de la Tierra. Ver la unidad en la diversidad cualitativa de la naturaleza es una de las tareas principales de la ciencia. Lenin escribió en los *Cuadernos filosóficos*: "...es necesario unir, relacionar, conjugar el principio universal del

desarrollo con el principio universal de la unidad del mundo, de la naturaleza, del movimiento, de la materia, etc." (5).

El descubrimiento de la naturaleza material del gene como parcela de una molécula de ADN expresa con enorme fuerza el principio de la unidad del mundo orgánico. Las moléculas de ADN han resultado ser el substrato material en que está grabada la información genética de casi todos los seres vivos de la Tierra. Es difícil imaginarse una demostración más profunda de la unidad de la vida, de la comunidad de su origen y de la recíproca condicionalidad de su historia. El método histórico tiene un enorme valor cognoscitivo. Lenin escribió: "...lo más importante para poder abordar esta cuestión desde un punto de vista científico, es no olvidarse de la concatenación histórica fundamental, considerar cada cuestión desde el punto de vista de cómo ha surgido el fenómeno histórico dado, cuáles son las etapas principales por las que ha pasado en su desarrollo y, partiendo de este punto de vista de su desarrollo, ver en qué se ha convertido en la actualidad" (6).

La evolución de las formas de la vida transcurre sobre la base de los sistemas celulares, cuyas particularidades cambian la especificidad de los canales de enlace entre las generaciones. En las formas superiores tiene un importantísimo valor el complejo fenómeno del desarrollo individual del ser, sin cuyo desarrollo tampoco puede realizarse, para ellas, el fenómeno de la herencia. Se plantea el problema de los principios y formas según los cuales la información genética programa el desarrollo individual del ser. En esta cuestión la dificultad estriba en comprender cómo se programa la integridad en el desarrollo del ser.

El problema del gene aún está lejos de su solución. El importantísimo aspecto del papel que el gene desempeña en la síntesis de las proteínas se ha investigado a fondo. Sin embargo, todavía no vemos con claridad muchos de los recónditos aspectos de su estructura y de su función. Hay que recorrer un largo camino para profundizar en las bases discretas de la vida. Al mismo tiempo ya es evidente que la comprensión de la vida como sistema será lo que permitirá alcanzar mayores éxitos en el conocimiento de la esencia de la vida y de las bases del desarrollo individual del ser. El análisis metodológico del problema de la integridad de la vida promete mucho. Ha de hacer avanzar, ahondándolos, los cambios en las concepciones filosóficas de la vida alcanzados gracias a los éxitos de la genética molecular.

Partiendo de los hechos puede decirse que la vida en la Tierra es la existencia integral de ADN, ARN y proteínas en forma de sistemas abiertos individualizados que se autorregulan, personales y específicos, integrales, de estructura bioquímica, con propiedades para reproducir formas de información genética que se desarrollan históricamente. Ha llegado el momento de estudiar los principios metodo-

---

(5) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 229.

(6) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXXIX, pág. 67. ("Obras escogidas en tres tomos", editorial Progreso, Moscú, 1966, t. III, pág. 263).

lógicos capitales de la unidad de discreción y de integridad en las bases estructurales y sistemáticas de la vida como forma superior del desarrollo de la materia.

El descubrimiento de que lo vivo existe como sistema nos llevará a conocer la esencia de la vida y a dominar este fenómeno en toda su historicidad y complejidad. Sin embargo, el puente entre lo vivo y lo inerte se ha de tender primero mediante la reproducción experimental de "moléculas vivas" de ADN y ARN, y después creándolas.

En 1967 y 1968 se resolvieron dos cuestiones de un valor de principio para hacer avanzar el problema del gene. El equipo de A. Kogan elaboró métodos de síntesis de moléculas de ADN con una secuencia dada de nucleótidos a nivel del gene. De este modo se sintetizó un gene de ARN transportador alanínico de levadura formado por unos cincuenta nucleótidos. El equipo de A. Kornberg creó las condiciones artificiales en que, según la matriz de un virus, se produjo la autorreproducción de la célula. De este modo se encontraron los procedimientos para abordar la creación de "moléculas vivas". La creación artificial de una célula viva —el único sistema vivo que se autoorganiza de nosotros conocido— es una cuestión de tiempo.

Todos los defectos y enfermedades hereditarios del hombre tienen por origen genes defectuosos en las células del organismo. Ahora, después de haberse demostrado que los genes pueden reproducirse en condiciones artificiales, quedan abiertos en principio los horizontes para fundamentar y aplicar en medicina procedimientos de genoterapia. El resultado será que podrán eliminarse dolencias que atormentan a la humanidad a lo largo de toda su historia como son las del sistema cardiovascular, el cáncer, la imbecilidad, el enanismo, la hemofilia y muchas otras, así como las bacteriales y virales.

El hombre superará las insuficiencias de su naturaleza biológica. Apoyándose en la teoría del gene aplicada a la genética del hombre, los futuros investigadores tendrán que resolver muchas cuestiones de principio nuevas.

El problema de la adecuación a fines, los factores del desarrollo histórico de los organismos, el control sobre la evolución de las especies

En el mundo orgánico, la adecuación a fines constituye una propiedad importantísima de la vida, propiedad que determina la organización, las funciones y la conducta de la materia viviente. Desde la estructura del gene y de los virus hasta la actividad nerviosa superior del hombre, está todo marcado por dicha propiedad. La adecuación a fines no es una propiedad de cada una de las especies dada desde un principio, sino adquirida históricamente, creada en calidad de respuesta de acomodación de la especie a las influencias del medio circundante. Como todas las propiedades evolutivas, la adecuación a fines está programada en el material genético. Gracias, precisamente, a que existe la adecuación a fines genéticamente programada en todos los niveles de la vida —desde el molecular hasta el de los organis-

mos—, en el desarrollo de cada ser se resuelven tareas en función de determinados objetivos, sin lo cual la vida sería imposible. El desarrollo individual del hombre empieza por un óvulo fecundado. En esta célula se encierra el programa del desarrollo de todo el ser. La célula, en determinadas condiciones, para llegar al fin que el programa genético le señala recorre en breve tiempo etapas gigantescas del desarrollo históricamente condicionado.

Durante milenios, la teología ha utilizado la adecuación de los organismos para consolidar los dogmas religiosos. En biología, ese mismo hecho ha sido erróneamente interpretado por las concepciones idealistas que se conocen con el nombre de vitalismo. La idea vitalista de que en los organismos existen desde un principio factores no materiales tiene una historia multisecular que arranca de la teoría de Platón sobre el alma y de la de Aristóteles sobre la entelequia. A finales del siglo pasado y a comienzos del actual, difundían el vitalismo J. Uexküll, H. Driesch y A. Wenzl entre otros.

La importancia de la teoría de Darwin consistía ante todo en haber sabido hallar, desde posiciones materialistas, las causas de la adecuación de las formas orgánicas. Darwin demostró que la adecuación a fines surge a consecuencia de la selección natural, de la herencia y de la variabilidad. Puso de manifiesto la unidad de la casualidad y de la necesidad en el proceso en que se forma la adecuación a fines. Estas concepciones se han coronado en la genética contemporánea con el magno triunfo del materialismo dialéctico, que ha sido, de hecho, la base filosófica sobre la que se ha resuelto el problema cardinal de la teoría evolucionista: el del papel de las mutaciones en la evolución y en la selección.

Los clásicos del marxismo, en su tiempo, dieron mucho valor a la teoría de Darwin. Engels consideraba que el problema de la correlación entre la casualidad objetiva y la necesidad constituye el núcleo de toda la teoría de Darwin. Escribió en la *Dialéctica de la naturaleza*: "En su obra, que hace época, Darwin parte de una base fáctica vastísima, sustentada en casualidades. Precisamente las interminables diferencias casuales de los individuos dentro de las especies, diferencias que pueden acentuarse hasta rebasar los límites del rasgo específico y cuyas causas, incluso las más próximas, sólo en casos rarísimos pueden establecerse, precisamente ésas diferencias le inducen a poner en duda el fundamento anterior de toda ley en biología: el concepto de especie en su anterior anquilosamiento metafísico y en su invariabilidad"(7).

La tarea de la ciencia estriba en buscar los nexos internos necesarios que se ocultan tras los diversos acontecimientos casuales. Sin embargo, la casualidad representa una de las formas en que se manifiesta la necesidad. Tal manifestación muestra que el análisis de acontecimientos casuales puede ser y a menudo es, en realidad, un camino para descubrir la necesidad.

---

(7) *C. Marx y F. Engels*, "Obras", t. XX, pág. 535.

En la genética, la investigación que sentó sus bases —el descubrimiento que hizo Mendel de las leyes principales de la herencia— fue un triunfo del valor científico de las categorías de casualidad y necesidad. Analizando las consecuencias de la combinación casual de gametos con distintos alelos, Mendel descubrió las leyes de la escisión, con lo que penetró hondamente en los procesos biológicos de la herencia.

A partir de los años cuarenta de nuestro siglo, el descubrimiento de Mendel figura en la base de la interpretación genética de los problemas de la evolución. En cambio, los genéticos de principios de siglo, interpretando equivocadamente la relación del mendelismo con el darvinismo, se apartaron de las posiciones dialécticas y materialistas de Darwin. Parte de los genéticos de aquellos años adoptaron criterios de un vulgar mecanicismo, difundieron activamente el agnosticismo, divulgaron concepciones idealistas sobre la naturaleza del gene y la naturaleza de las mutaciones. De Vries intentó fundamentar la teoría de la aparición catastrófica de las especies por saltos que sólo se explican, según él, por causas internas. Suponía que la variabilidad hereditaria crea de golpe acomodaciones sin formación evolutiva, histórica. William Bateson expuso la hipótesis de la presencia-ausencia, según la cual la aparición de los cambios hereditarios y todos los procesos evolutivos representan distintos grados de degradación, internamente condicionada, de la herencia, de desintegración de cierto genotipo inicial en el que se hallan en potencia las posibilidades de toda la evolución de los organismos. En 1912-1916 Lotsy sostuvo que la hibridación es el fundamento único de la evolución. Suponía que tanto el mundo inorgánico como el orgánico se basan en combinaciones de un determinado número de elementos invariables. En el primer caso, los ladrillos de la materia son los elementos químicos; en el segundo, la vida se descompone en cierto número de genes invariables.

El gran mérito de Darwin está en haber expulsado de la biología la vieja representación metafísica de la absoluta necesidad predeterminada, impuesta a la naturaleza por ley divina. Según la teoría de Darwin, los factores del desarrollo histórico son la selección natural, la variabilidad indeterminada, objetivamente casual, y el fenómeno de la herencia. Con este descubrimiento Darwin puso de relieve que la evolución no cumple objetivos preestablecidos de ninguna clase ni está determinada por ninguna clase de incitaciones de los propios organismos adecuados a algún fin. La adecuación a fines es una adquisición histórica de los organismos determinada necesariamente por el nexo de estos últimos con el medio exterior, pero se crea, además, mediante selección de las desviaciones objetivamente casuales. Señalando el hecho de que la teoría de la selección natural proporciona la única explicación acertada del origen de la adecuación orgánica, Marx, en carta del 16 de enero de 1861 dirigida a F. Lassalle escribió: "...aquí no sólo se ha infligido por primera vez un golpe mortal a la «teología» en las ciencias naturales, sino que, ade-

más, se ha explicado empíricamente el sentido racional de esta adecuación"[8].

El significado racional de la adecuación a fines se ha explicado desde nuevas alturas de principio gracias a una profunda síntesis del darvinismo y de la genética. La genética contemporánea de las poblaciones, iniciada con un artículo que publicó S. S. Chetverikov en 1926, ha demostrado que los procesos en virtud de los cuales aparecen nuevas especies se basan en la ley de la unidad y lucha de contrarios. El surgimiento de mutaciones en condiciones naturales, la aparición de sus complejos conjuntos, el comportamiento de las poblaciones como sistemas hereditarios únicos (poblaciones de Mendel), el efecto de la selección, todos estos factores de la evolución en su unidad orgánica se han estudiado en un número enorme de investigaciones experimentales y teóricas. Se ha visto que las mutaciones están causalmente condicionadas, mas, como no son adecuadas a fines, objetivamente constituyen cambios casuales respecto a las propiedades de adaptación de las especies. Parte de las mutaciones resultan útiles, y se extienden en las poblaciones en virtud de la selección. Provocan el polimorfismo en el interior de la especie, pasan a ser patrimonio de todos los seres de la población, de la subespecie y, finalmente, transforman las propiedades de especies enteras. Las mutaciones negativas no se desechan simplemente; en sensible número pueden "contagiar" el genotipo específico, a consecuencia de lo cual aparece en las poblaciones un "lastre genético". Todos estos procesos evolutivos de las poblaciones se hallan ligados al incremento de cambios cuantitativos, lo que culmina con cambios cualitativos cuando aparecen las especies. La investigación de tales cambios cuantitativos ha movido a aplicar ampliamente y con espíritu creador la matemática en la genética de las poblaciones.

Los trabajos dedicados al análisis experimental y teórico de los procesos genéticos de la evolución han afirmado el darvinismo en la genética y han demostrado el valor del método histórico y de la teoría del desarrollo para comprender la esencia de la herencia y de la variabilidad. La idea evolucionista se ha abierto camino, en la genética, en varias direcciones. Actualmente, su unión ha llevado a estudiar los problemas de la evolución y de la selección con un criterio sintético y multilateral, genético-morfológico. La genética de las poblaciones está adquiriendo gran importancia en la genética médica. Varios problemas relacionados con la aparición, la difusión y la curación de las enfermedades hereditarias del hombre se resuelven gracias a que se aplican con gran amplitud los datos que proporciona la genética de las poblaciones.

La genética de las poblaciones es una de las ramas de la genética general que se desarrolla con mayor rapidez. En este nuevo campo, el volumen de los conocimientos aumenta de año en año. Los datos de la genética de las poblaciones son indispensables al evolucionista, al seleccionista, al sistematizador, al ecólogo, al biólogo y al filósofo.

---

(8) C. *Marx* y F. *Engels*, "Obras", t. XXX, pág. 475.

Ante ella se abre un camino de investigaciones con extraordinarias perspectivas de éxito en la teoría y en la práctica. En el pasado, el examen de las leyes de la evolución se fundaba exclusivamente en el análisis de los cambios de forma de los organismos. La genética de las poblaciones ha penetrado en el contenido del proceso de la evolución y en esta senda ha descubierto el mecanismo real de la herencia, de las mutaciones y de la selección.

Nikolái I. Vavílov definía la selección como una evolución dirigida por la voluntad del hombre. Hoy en día la evolución de un gran número de formas de vida de la naturaleza empiezan a experimentar sobre sí la influencia de la actividad humana. El impetuoso crecimiento de la ciencia y de la técnica hace singularmente actual el problema de la relación entre el hombre y la naturaleza. La acelerada industrialización de todos los países del mundo, la aplicación de los procedimientos químicos en la economía nacional, el incremento del nivel de radiactividad y muchos otros factores del desarrollo industrial actúan sobre la biosfera e influyen esencialmente en los procesos de la evolución natural de los organismos vivos. Se plantea en toda su magnitud el problema del control racional de la evolución de la vida en nuestro planeta. La protección de la naturaleza y la multiplicación de sus riquezas son inseparables de las tareas de su transformación. Hay que vencer a los gérmenes de las enfermedades y a otros principios nocivos.

A la teoría genética de la evolución se le plantean ingentes problemas. Es necesario descubrir concretamente la actividad de la selección, de la herencia y de la variabilidad en las poblaciones; aclarar la esencia de las transformaciones de los sistemas genéticos que se operan en la base de los complejos integrados de genotipos, las leyes del desarrollo histórico en distintos grupos de organismos, el papel de la determinación genotípica de los procesos de la macroevolución, etc. Es más, para resolver los problemas del control de la evolución de las especies, será indispensable cambiar mucho la base objetivamente casual de las mutaciones naturales y crear métodos que provoquen corrientes de variabilidad dirigida de las formas orgánicas. En esta negación de las leyes de la mutagénesis natural se encierra una grandiosa posibilidad de selección orientada y de gobierno de la evolución de la vida en la Tierra.

El problema de las mutaciones. Sobre la esencia y el fenómeno en la aparición de la variabilidad hereditaria de los organismos

El fenómeno de las mutaciones es la base de la evolución, de la selección y de la variabilidad hereditaria de todo el mundo orgánico. Es el movimiento ineluctable de la materia orgánica en el material genético, movimiento que condiciona el eterno proceso de aparición de lo nuevo. La teoría de las mutaciones se halla indisolublemente vinculada a la teoría del gene, a la de los cromosomas y a la categoría filosófica de causalidad.

En la historia de esta cuestión, se ha puesto de relieve con es-

pecial claridad la trascendencia de la metodología para el conocimiento de los fenómenos. Hubo que sostener una larga lucha contra las concepciones mecanicistas e idealistas antes de lograr que la genética llegara a la comprensión de que el fenómeno de las mutaciones transcurre según las leyes del determinismo materialista dialéctico. La ulterior elaboración de este problema exige de los investigadores que se ocupen de desarrollar profundamente las bases filosóficas del conocimiento científico de la naturaleza. "...Las ciencias naturales —escribió Lenin— progresan con tanta rapidez, atraviesan un período de tan profundo viraje revolucionario en todas las ramas, que no pueden pasarse de ninguna manera sin las conclusiones filosóficas"(9).

Actualmente el aspecto fáctico de las mutaciones se ha estudiado con mucho detalle. Se ha descubierto la honda dialéctica de los acontecimientos que en este campo se producen. Ahora está claro que no existen mutaciones sin causa. Los factores de las mutaciones se encuentran en los nexos dialécticos de lo exterior y de lo interior, nexos que, en su acción, se refractan a través de la especificidad de los genes y de los sistemas vivos en su conjunto.

El problema de la causalidad representa una de las principales divisorias en la lucha entre el idealismo y el materialismo. Éste considera los nexos causales como inherentes a las cosas mismas, que existen fuera e independientemente de la conciencia. La causalidad tiene un carácter objetivo y universal.

El materialismo dialéctico, apoyándose en los resultados de la ciencia y de la práctica, afirma la existencia de una acción recíproca universal entre los objetos y los fenómenos del mundo, su sujeción universal a leyes, uno de cuyos elementos es la relación causal. La causalidad, como indicaba Lenin, tan solo forma una parte de la concatenación universal; la causa y el efecto únicamente son eslabones en la cadena del desarrollo de la materia. Lenin dice que cuando se resuelve un problema es necesario hallar, en la cadena de los acontecimientos, el eslabón especial, básico, que permite sacar la cadena entera si se toma como punto de apoyo.

Cuando examinamos un acto particular de mutación, surge ante nosotros la clara estampa del carácter determinado de los acontecimientos, lo que se registra con singular precisión en la mutagénesis artificial. Así, tratando las células con combinaciones alcohilantes, provocamos la alcohilación principalmente de la guanina a través del nitrógeno en la séptima generación. Si tratamos los fagos con ácido nítrico o con acridina, vemos con claridad los cambios determinados que provocan en las moléculas de ADN. Existen mutágenos que, destruyendo determinados tipos de genes, provocan un cuadro específico de mutación. Todo esto ha permitido formular la tesis de que la cualidad de las mutaciones está determinada por la cualidad del factor estimulante. ¿Significa ello que se conoce por completo la causa cuando se estudian las mutaciones naturales y cuando se analiza toda

(9) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XLV, pág. 31. ("Obras escogidas en tres tomos", edic. cit., t. III, pág. 693).

la masa de experimentos sobre mutagénesis artificial? Desgraciadamente no es así. Las formas de los nexos entre el material genético y los factores del medio exterior así como del interior, son extraordinariamente complejas. En la base de esos nexos se hallan las relaciones causales de lo necesario y lo casual, de lo esencial y lo no esencial, de lo interior y lo exterior. El resultado es que las relaciones causales en el organismo, cuando se provocan mutaciones dependen de un gran número de factores, lo cual determina el carácter estadístico del proceso integral de las mutaciones. Esta circunstancia, precisamente, condiciona el hecho de que, desde el punto de vista de la adaptabilidad de los organismos a las condiciones del medio, las mutaciones constituyan cambios objetivamente casuales. Sin embargo, la casualidad objetiva no es una casualidad absoluta.

En genética existen investigadores según los cuales los cambios particulares de los genes no están por principio determinados. El análisis atento revela, no obstante, que en el interior de cada especie los procesos de mutación, pese a toda su incoherencia externa, reflejan una ley interna que se abre camino a través de las casualidades. Esta particularidad se expresa en la existencia de ciertas limitaciones en la diversidad de mutaciones, y en la semejanza de la variabilidad hereditaria en las especies afines.

Existe el punto de vista según el cual la necesidad interna a que obedecen las mutaciones se basa en una tendencia a la adaptación porque así está programado en el genotipo. El resultado, afirman quienes sostienen este punto de vista, es que existe una correspondencia general entre la cualidad de los cambios adaptadores de la herencia y la cualidad de los factores estimulantes del medio. Sin embargo, este planteamiento del problema es erróneo a la luz de la determinabilidad orgánica de las mutaciones. Menospreciar esta circunstancia priva al proceso mutativo de su rasgo fundamental, que se relaciona con la manifestación de la categoría de casualidad objetiva en el proceso necesario en que se forman las propiedades de adaptación de las especies.

En la genética de las poblaciones se ha introducido el concepto de homeostasis evolutiva, que designa la estabilidad evolutiva de las poblaciones y de las especies en respuesta a los cambios del medio en que habitan. Sabemos cuán rápidamente las plantas, los animales y los microorganismos cambian su herencia adaptándose a los cambios que en el medio origina la actividad del hombre. Los cambios de situación química con frecuencia están relacionados con la introducción, en el medio, de sustancias que hasta entonces no habían actuado nunca sobre los organismos, y a pesar de todo las poblaciones adquieren con gran rapidez propiedades de adaptación. En este caso, no cabe ni siquiera hablar de correspondencia alguna de las cualidades útiles de las mutaciones con la cualidad del factor actuante.

Todos estos procesos de la evolución se apoyan en el aprovechamiento de las nuevas mutaciones, objetivamente casuales, y también de las reservas genotípicas de las poblaciones que sirven de base a la selección para integrar rápidamente nuevos genotipos de adaptación.

En general puede decirse que la homeostasis evolutiva sólo es concebible si se conserva con todo rigor la ley de la casualidad objetiva de las mutaciones. Bastantes hechos prueban que las particularidades de las mutaciones están determinadas por factores genotípicos. Esto demuestra que la capacidad de los genes es diversa, cambia en diferentes sentidos respondiendo a unos mismos factores mutágenos y está genotípicamente programada. Durante millones de años la naturaleza ha creado los fundamentos de la homeostasis evolutiva, ha programado genéticamente la base para que aparezcan mutaciones objetivamente casuales. La dialéctica de los acontecimientos aquí es tal que la inadaptabilidad primaria de las mutaciones actúa como propiedad de adaptación evolutiva profundamente afianzada. La casualidad objetiva de las mutaciones, refractándose a través del prisma de la selección, crea la necesidad bajo el aspecto de la adaptabilidad de los caracteres.

Esto no sólo atañe a los organismos superiores, sino también a las bacterias y a los virus. La casualidad objetiva de las mutaciones constituye una de las leyes más profundas de la existencia histórica de los organismos. Esta ley refleja la importantísima adaptación evolutiva sin la cual no existiría la evolución ilimitada de la vida en respuesta a la aparición de condiciones nuevas, una y otra vez, en el medio exterior. Desde luego, en toda especie y en toda población existe una limitación determinada del "grado de libertad", relacionada con la existencia de un complejo general de genes históricamente determinado. El honor de haber descubierto este fenómeno pertenece a N. I. Vavílov, quien formuló la ley de las series homólogas en la variabilidad hereditaria. Sin embargo, en el marco de estas limitaciones, posee de todos modos un valor decisivo la ley de la casualidad objetiva de las mutaciones. En esta solución del problema sobre la naturaleza de las mutaciones no se asigna de ningún modo un valor absoluto a la casualidad de los cambios genéticos. La interacción del sistema genético con el medio no se establece a través de enlaces mecánicos, sino por medio de la determinación orgánica. Los factores ambientales se refractan a través de los caracteres específicos del sistema vivo, los cuales, a su vez, transforman activamente los primeros a través de los procesos de intercambio. Finalmente, los genes pueden cambiar de diversas maneras ante influjos similares. Como resultado, aparece el flujo de la variedad genotípica, formado, respecto a los factores iniciales del medio, de mutaciones objetivamente casuales. En cuanto al carácter determinado del fenómeno mismo de las mutaciones existe un hecho que lo hace evidente, a saber: hemos aprendido a provocar variadas formas de mutaciones en cantidades enormes valiéndonos de la radiación, de diversos factores químicos y de otros estímulos. En trabajos de mutagénesis química se muestra la mutabilidad específica. Sin embargo, las leyes de la casualidad objetiva todavía dominan sobre los acontecimientos que se producen incluso cuando las mutaciones se provocan artificialmente.

Las tentativas de representar las mutaciones naturales como una

respuesta de adaptación adecuada al influjo de los factores externos no es otra cosa que una simplificación injustificada, hasta el nivel de las relaciones de causa y efecto, de las complejas dependencias del organismo vivo. Ése es un típico enfoque mecanicista, que no tiene en cuenta los tránsitos de un tipo de conexiones a otro. Por lo que atañe a la mutagénesis natural en gran cantidad, actúan factores casuales, por lo que el fenómeno de las mutaciones naturales no se determina mediante conexiones directas y unívocas, sino que exige un análisis estadístico. Resumiendo las consideraciones acerca de las leyes de la mutación natural puede decirse que en su base se encuentra el ineluctable movimiento del material genético, dado que los genes, sobre la base de la unidad de lo interior y lo exterior, están involucrados en los procesos de intercambio de la célula, sin los cuales no hay vida. Determinan las formas de este movimiento, por una parte, las peculiaridades históricas de los genotipos, lo que queda fijado en la ley de Vavílov, y por otra parte, la existencia de un programa para resolver una tarea orientada hacia un fin que exige se manifieste la casualidad objetiva de las mutaciones. Lo primero es una prueba de que existen conexiones históricas entre las especies, es decir, constituye un testimonio del pasado de la evolución. Lo segundo, realizando la unidad de lo casual y lo necesario, forma el núcleo de todas las posibilidades ilimitadas de la evolución corriente y futura en respuesta a los cambios que sean de las condiciones del medio.

Comprendido el hecho de que la determinación orgánica del sistema rige la mutabilidad natural, resulta muy lógico que no se esté conforme con la afirmación de que pueden heredarse los denominados caracteres adquiridos. Las conexiones dialécticas de lo exterior y lo interior en los sistemas vivos íntegros excluyen las relaciones de causa y efecto entre el cambio de caracteres del organismo entero y los cambios adecuados de las estructuras moleculares de los genes. Una transformación del organismo puede modificar el curso del proceso de las mutaciones, mas no puede alterar su carácter objetivamente casual.

En la historia de la biología, la idea de la herencia adecuada de las propiedades adquiridas —fundada en la confusión de esencia y fenómeno —se ha conservado con sorprendente firmeza a lo largo de milenios. Los organismos por dos caminos pueden recibir nuevos caracteres. En primer lugar, como resultado de cambios en sus caracteres hereditarios. Los organismos adquieren esos nuevos caracteres a causa de mutaciones provocadas por la acción de los factores del medio exterior e interior. Tales caracteres son genotípicos, se transmiten rigurosamente por herencia a modo de alelos dominantes, superdominantes, codominantes, semidominantes y recesivos o de cambios cromosomáticos. En segundo lugar, los organismos en los procesos del desarrollo individual pueden transformarse como sistemas morfofisiológicos enteros, lo que no acarrea cambios adecuados en sus estructuras hereditarias moleculares. En estos casos, los cambios aparecen sobre la base de los sistemas genotípicos conservados en los límites de las normas de reacción que le son propias. Todos estos

caracteres personales adquiridos son fenotípicos, y no se transmiten por herencia.

El fenotipo es un fenómeno, mientras que el genotipo es la esencia inmanente al organismo; los cambios de uno no son indiferentes al otro. Los cambios de esencia (de genotipo), refractándose a través de los procesos del desarrollo integral, conducen a determinados cambios del fenómeno, del fenotipo. Los cambios del fenotipo, refractándose a través del sistema del determinismo orgánico, son un factor de mutaciones.

Durante mucho tiempo estas verdades, hoy tan evidentes a la luz de los datos de la genética contemporánea, no llegaron hasta la conciencia de los investigadores; únicamente los hechos exactos y el riguroso análisis teórico han demostrado que la acción recíproca entre el fenómeno y la esencia en el problema de la herencia no encaja en las representaciones habituales sobre las conexiones de causa y efecto entre lo exterior y lo interior. En la ciencia hay no pocas verdades "evidentes por sí mismas" refutadas. Así, en tiempos pasados parecía evidente que el Sol girase alrededor de la Tierra. La astronomía tuvo que desarrollarse durante largo tiempo para que el Sol y la Tierra, en la representación de los hombres, se situaran en sus correspondientes lugares.

La correlación de genotipo y fenotipo en la evolución de los organismos aparece como interacción de forma y contenido. La fuente de la evolución es la lucha de los contrarios contenido y forma, donde ésta (el fenotipo) actúa en calidad de parte conservadora. El tránsito de la cantidad a cualidad supera las facetas negativas de lo viejo de modo que el nuevo contenido asegura la nueva forma que le es adecuada. Además, en los procesos evolutivos, la forma (el fenotipo) no es pasiva: regulando las orientaciones de la selección, influye de modo radical sobre los procesos que determinan el contenido (genotipo). Los procesos de la evolución tienen sus períodos críticos cuando las modificaciones del medio exterior provocan transformaciones esenciales en las propiedades de las especies. Tales períodos pueden compararse con las épocas de las revoluciones sociales, que suceden a los largos períodos del denominado desarrollo pacífico. En esos momentos, en el seno de la especie se movilizan enormes reservas de variabilidad hereditaria, surgen desviaciones de los fenotipos en respuesta a la acción del medio, cambios del contenido hereditario de la especie, y las formas de su lucha por la vida se hacen impulsivamente rápidas y variadas.

Ante nosotros surge el "prodigio" de los momentos críticos en los procesos de la formación de las especies. Esto atañe, en particular, a los fundamentos biológicos de la aparición del hombre. Refiriéndose a procesos análogos en la esfera de los acontecimientos sociales, Lenin escribió: "Ni en la naturaleza ni en la historia se producen milagros, pero todo viraje brusco de la historia, incluida cualquiera revolución, ofrece un contenido tan rico, desarrolla combinaciones tan inesperadas y originales de formas de lucha y de correlación de

las fuerzas en pugna, que muchas cosas pueden parecer milagrosas a la mente del filisteo"[10].

Por lo que respecta al problema más importante de toda la teoría de la vida, a saber, el de la tendencia de las mutaciones, es necesario comprender claramente que, según ha mostrado la concepción materialista dialéctica de la naturaleza, las conexiones causales poseen variado carácter. Se han descubierto las causas específicas de los fenómenos de las mutaciones, mas para resolver el problema de las mutaciones dirigidas hay que conocer la causa completa, es decir, las circunstancias en que, cuando se dan, se produce necesariamente el efecto.

Es difícil decir cómo se resolverá este grandioso problema de las ciencias naturales. En todo caso es evidente que los enfoques actuales no responden a la tarea planteada. La teoría molecular de las mutaciones tiene hoy un valor enorme, revela la naturaleza de las acciones recíprocas de los mutágenos químicos y físicos con la estructura molecular del ADN. Se ha demostrado que estas reacciones pueden ser plenamente específicas. Tal especificidad, sin embargo, se sitúa en el nivel de nucleótidos individuales y sus pequeños grupos. Mas el problema radica en los cambios, orientados hacia objetivos determinados, de los genes, cada uno de los cuales sirve en la célula como centro de especiales procesos bioquímicos. Para conseguir tales resultados es necesario cambiar los genes como sistemas íntegros. Por ahora no hemos penetrado todavía en estas propiedades de los genes. Por otra parte, los mismos cambios concretos de los genes han de producirse a través de determinados cambios moleculares. Para cambiar con un objetivo concreto un determinado nucleótido en un gene no sólo ha de realizarse su interacción química específica con el mutágeno, sino que, además, se ha de asegurar que el mutágeno en el sistema del gene reconozca precisamente al nucleótido individual dado. Dada la unicidad del sistema de cada gene, eso asegura el carácter selectivo del ataque y su repetición para cada uno de los genes. Sobre estas bases, teniendo en cuenta la complejidad de las acciones indicadas, son concebibles cambios de cualquier complicación en los genes. A la luz de los éxitos alcanzados en los trabajos sobre síntesis artificial de genes, en el futuro serán una realidad la síntesis de genes mutativos cualesquiera que sean sus construcciones y su introducción en el sistema del genotipo de la célula.

Indicaremos, finalmente, que no conocemos, ni mucho menos, todas las facetas de los procesos de las mutaciones. Ahora resulta evidente que la acción recíproca entre el gene y el mutágeno conduce a la aparición tan solo de los cambios químicos primarios en el cromosoma.

Después de esto, hasta el momento en que aparezca la mutación verdadera, puede transcurrir largo tiempo. Durante todo este tiempo, las zonas de los cromosomas metaestablemente destruidos existen

---

(10) V. *I. Lenin*, "Obras", t. XXXI, pág. 11. ("Obras escogidas en tres tomos", edic. cit., t. II, pág. 23).

como cambios potenciales. Estos cambios poseen una serie de propiedades cuya esencia resulta por ahora incomprensible a la luz de la actual teoría molecular de las mutaciones. Al mismo tiempo, en el transcurso de toda su vida, los cambios potenciales se hallan sometidos a diversos influjos modificadores.

En el problema de la mutación se ha abierto una nueva página al descubrirse que la célula posee especiales sistemas de fermentos que protegen a las moléculas de ADN, portadoras de la información genética. Estos fermentos cortan de las bandas de ADN las destrucciones primarias que les han causado los mutágenos. Los complejos procesos que surgen regulan la aparición de las mutaciones. El estudio de los problemas de la formación de estas últimas exige el control de todas las condiciones intracelulares en cuyo sistema se realizan los cambios mutacionales de los genes y de los cromosomas. La tarea consiste en dirigir los procesos de las mutaciones. Se ha demostrado que, dirigiendo tales procesos, puede asegurarse la aparición de destrucciones idénticas en las dos bandas de ADN, lo que lleva a mutaciones completas, o se puede conservar la destrucción en una sola banda, con lo cual se crea la condición que permite obtener mutaciones en mosaico.

Para dominar el proceso de la variabilidad dirigida de los genes es preciso cambiar radicalmente los procesos de la célula que sirven de base a la ley estadística de la formación del proceso mutacional. Sabido es que el hombre, con su actividad, hace reales las posibilidades que le son necesarias hasta el punto de que algunas de ellas, casi irrealizables en la naturaleza, gracias a la creación artificial de condiciones favorables, pueden convertirse en la base de nuevas ramas de la ciencia y de la técnica.

El gobierno de la herencia. Sobre la unidad de la teoría y de la práctica en la genética

La biología es de gran trascendencia práctica, pues constituye el fundamento teórico de las ciencias agrícolas y médicas. La práctica no representa sólo la finalidad de la ciencia, sino que sirve, además, como medio de conocimiento.

La ciencia contemporánea tiene un valor enorme para toda la vida de la sociedad. Nació en su tiempo de la actividad productiva del hombre. La unidad de la producción y la ciencia es evidente, mas no debe olvidarse que junto a la práctica de la producción, existen la lógica del conocimiento y la práctica experimental. Han aparecido zonas enteras de disciplinas experimentales y teóricas que ora se unen con la producción ora se adelantan abriendo caminos hacia el futuro. Vemos que en una serie de casos, al estudiar la naturaleza en forma al parecer totalmente abstracta, surgen, centelleantes, los descubrimientos que alumbran nuevos caminos a la civilización. No en vano el XXIII Congreso del PCUS y las disposiciones tomadas por el Comité Central del mismo en los últimos años señalan la necesidad de desarrollar por todos los medios las investigaciones teóricas y exi-

gen a la vez que la ciencia se aproxime en todo lo posible a la práctica. En el Programa del Partido se dice: "La aplicación de la ciencia se convierte en un factor decisivo del poderoso crecimiento de las fuerzas productivas de la sociedad"[11].

El principio de la unidad de la teoría y de la práctica realza la trascendencia de las investigaciones fundamentales de la naturaleza. Lenin escribió: "La verdad es un proceso. El hombre va de la idea subjetiva a la verdad objetiva a través de la «práctica» (y de la técnica)" [12]. Las investigaciones fundamentales descubren nuevas perspectivas del tránsito de la posibilidad a la realidad.

La ciencia, mediante investigaciones fundamentales que su desarrollo y el de la práctica preparan creando teorías en las cuales se reflejan las leyes esenciales de la naturaleza, llega a resultados de valioso significado práctico. Tal es el camino de todas las transformaciones revolucionarias que la ciencia aporta a la práctica desarrollándose ella misma sobre la base de las fuerzas productivas de la sociedad. Ante nuestros ojos las ciencias teóricas y las experimentales, llamadas a la vida por el desenvolvimiento de las fuerzas productivas, pasando por la fase de la contemplación y luego por la del pensamiento abstracto —es decir, después de crear grandes generalizaciones teóricas— se convierten en una fuerza material que contribuye a transformar la producción. La teoría de la física nuclear y los nuevos métodos experimentales han conducido a la utilización de la energía atómica; el desarrollo de la matemática, a la aparición de la cibernética, ciencia de los sistemas gobernables; el desarrollo de la química, a la aparición de la industria de los polímeros sintéticos; el desarrollo de la genética teórica y experimental, a tales métodos de transformación de la herencia como la poliploidia, la heterosis, la mutagénesis por radiación y la química, y otros. La combinación de las nuevas ciencias con la nueva técnica de producción ha permitido crear las naves cósmicas. Y cuanto mayores son las proporciones del problema teórico resuelto por la ciencia tanto más intensa es la influencia que esta última ejerce sobre la vida y sobre la producción. El futuro de nuestro país se halla unido a la ciencia.

La tarea capital de las ciencias naturales consiste en descubrir las posibilidades de transformar el mundo que existen en la naturaleza y en el proceso de la actividad práctica. La formulación de las posibilidades teóricas sirve de base para preparar un programa de fomento de la ciencia, para ampliar sus horizontes. Estamos llegando al asalto de los grandiosos enigmas de la naturaleza. La ciencia de nuestros días se esfuerza por resolver los enigmas del nacimiento, de la existencia y del desarrollo del universo, por descubrir los secretos del micromundo y las leyes del desarrollo de los objetos en cualquier nivel de la materia. No atrae menos la atención de los investigadores el problema de la esencia, origen y desarrollo de la vida. La cuestión

---

(11) "Programa del Partido Comunista de la Unión Soviética", Moscú, 1968, pág. 125.

(12) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 183.

estriba en aprovechar en grado máximo las posibilidades fundamentales de dar cima a esas magnas tareas y poner los resultados obtenidos al servicio de la paz y del bien del hombre.

El avance de la genética ha influido ya seriamente en el progreso de la agricultura y de la medicina en nuestro país. Grandes son los éxitos de los seleccionistas soviéticos. Contribuyeron de manera preeminente a crear las bases científicas de la selección soviética N. I. Vavílov e I. V. Michurin. Las clases de diversos cultivos que han obtenido P. I. Lisitsin, P. N. Konstantínov, A. A. Sapeguin, A. P. Shejurdin, P. P. Lukianenko, V. S. Pustovoit, N. V. Tsitsin, V. N. Mámontov, F. G. Kirichenko, V. N. Remesló, M. M. Jadzhínov, V. E. Písariev, A. G. Lorj y otros han elevado el nivel de nuestra agricultura y han cambiado la calidad de la materia prima.

Los trabajos de S. N. Davidenkov, S. G. Levit y otros, en nuestro país, han sentado las bases de la genética médica, que tiene por objetivo descubrir la etiología de las enfermedades hereditarias del hombre y facilitar los métodos de su curación.

Durante los últimos quince años, en la genética se han podido realizar experimentos directos con estructuras moleculares en las que está grabada la información genética de los organismos. Ello se ha logrado gracias a los progresos de la física, de la matemática y de la química, que han proporcionado a la genética experimental recursos técnicos gigantescos y nuevos elementos metodológicos.

Los éxitos colosales de la investigación físico-química de las estructuras moleculares y de los procesos que se dan en la célula viva no tienden a reducir mecánicamente las formas superiores del movimiento de la materia a las inferiores. Todos estos nuevos métodos descubren los profundos fenómenos que se encuentran en la base de la forma biológica del movimiento de la materia y asestan el golpe definitivo a las múltiples variedades que presenta la consideración de los fenómenos de la vida como si se tratara de una esencia mística.

La nueva genética es el resultado de una sucesión de etapas basada en la concatenación de lo nuevo con lo viejo en el desarrollo de las ideas y de los métodos. El desarrollo dialéctico, a través de la negación de la negación, tiene como rasgo característico el de realizarse en espiral. Lenin, señalando esta importante peculiaridad de la dialéctica, escribió: "Es un desarrollo que en cierto modo repite estadios ya recorridos, pero los repite de otro modo, sobre una base más elevada («negación de la negación»), es un desarrollo, por decirlo así, en espiral, y no en línea recta..."(13)

Los poderosos métodos actuales con que se investiga el material genético se han elaborado partiendo de los principios de la teoría cromosómica de la herencia, de la teoría del gene y de la teoría de las mutaciones. Ahora, tomando como base la filosofía del materialismo dialéctico en unión sintética con los métodos de la genética, de la física, de la química y de la matemática se desatan los nudos gordianos del problema relativo a la esencia de la vida, a su origen y

(13) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXVI, pág. 55.

BIBLIOTECA VALENCIA FILOSOFIA Y LETRAS

a la posibilidad de crear métodos poderosos para dirigirla. En el centro de los acontecimientos se halla la nueva teoría del gene en la que se plasman, como en un foco, los métodos actuales de investigación. En el problema de la interacción del núcleo, del citoplasma y del medio está encerrado el principal enigma de las propiedades fundamentales —de estructura y de sistema— de la vida como sistema orgánico abierto íntegro.

El futuro de la genética se halla vinculado al desenvolvimiento de las investigaciones fundamentales. Depende de la metodología de dichas investigaciones y de la trabazón de la genética con la práctica. Todo permite creer que los resultados de principio más importantes se alcanzarán: 1) en el problema del gene; 2) en el descubrimiento de los principios que afectan a los sistemas en la organización, en los procesos y en el desarrollo de la vida en la Tierra y fuera de ella; 3) en la genética del hombre; 4) en la preparación de métodos que revolucionen la práctica de la genética en la agricultura y en la medicina.

En el problema del gene están contenidos los secretos de los fundamentos materiales de la herencia.

Los investigadores del problema del gene caminan por las espinosas sendas de la ciencia y todavía han de hacer muchos e inesperados descubrimientos que rompan nuestras viejas representaciones. Han penetrado en la zona de las estructuras moleculares genéticas y sus funciones, cuya complejidad supera todo cuanto tenemos en la física nuclear. ¡Se trata nada menos que de la posibilidad real de sintetizar las formas iniciales de la vida!

La complejidad del problema exige la unión, en una gran síntesis, de los razonamientos de la física, de la química, de la cibernética, de la bioquímica y de la genética. De año en año será más tangible la repercusión de los nuevos resultados en la agricultura y en la medicina.

La elaboración de la teoría del gene y su interpretación filosófica materialista dialéctica proporcionan la base para que se cumplan las tareas señaladas en las Directrices del XXIII Congreso del PCUS sobre el plan quinquenal, que prevén "el ulterior estudio de los procesos que transcurren en la materia viva, de las leyes genéticas de la selección de los microorganismos, de las plantas y de los animales con el fin de crear razas nuevas altamente productivas de animales, y clases de plantas que proporcionen elevadas cosechas; la elaboración de los problemas de la genética de las enfermedades hereditarias"(14).

Basándose en la teoría del gene, la genética actual ha alcanzado grandes éxitos en la investigación de las plantas, de los animales, de los microorganismos, de los virus y del hombre. El nuevo desarrollo, profundamente materialista, de la genética, le asegura un lugar junto a las ciencias de vanguardia que entran en la composición de las fuer-

---

(14) "Materiales del XXIII Congreso del PCUS", Moscú, 1966, pág. 231.

zas productivas del comunismo. No se debe olvidar que la humanidad ha entrado en el siglo del átomo, del gene y del cosmos.

El descubrimiento de los principios de integridad en la organización de la materia viva es condición necesaria para penetrar en el enigma de la vida considerada como una de las etapas del desarrollo de la materia en el universo. El triunvirato que forman el ADN, el ARN y las proteínas, actuando conjuntamente en las condiciones concretas de la organización y de la bioquímica de las estructuras vivas y en determinadas condiciones exteriores, crea la especificidad cualitativa de los fenómenos de la vida. Aquí, inserto en el problema del gene, se halla el enigma del origen de la vida, el enigma de la realización de los programas genéticos en el desarrollo individual y en la actividad vital, el enigma del desarrollo histórico de la célula y de los organismos. Todo ello determina los caminos en que se ha de elaborar el nuevo enfoque de las investigaciones de la célula —en función de su estructura y de su sistema— en toda su integridad orgánica, de suerte que el sistema vivo aparece en una unidad de forma y de funciones.

La genética del hombre exige la más viva atención, sus problemas tienen una importancia enorme para la biología en general, para la antropología y la medicina. En el futuro, la significación de la genética del hombre se incrementará cada vez más. La comprensión de los fundamentos biológicos del ser humano y de su futuro biológico, la lucha con los defectos hereditarios, la penetración del hombre en los vastos espacios del cosmos, todo esto se hallará ligado al desarrollo de los problemas de la genética del hombre.

Lo esencial en los trabajos de ese tipo estriba en comprender que el hombre, en su desarrollo, se ha excluido de la evolución del reino animal. Esto elimina los errores admitidos en la eugenesia y refuta científicamente al racismo. Culminados los procesos de la antropogénesis y de la sociogénesis fusionados en uno solo, procesos que condujeron a la aparición del hombre, se produjo un entrelazamiento extraordinariamente complicado de factores principales, de carácter social, y de factores secundarios, de carácter biológico, en la vida del hombre. Este salto cualitativo se produjo sólo en la evolución del ser humano.

La elaboración de los métodos de la genética que revolucionan la práctica requiere asimismo un análisis metodológico muy serio. A la par de los fundamentos científicos generales de la selección, la genética ha abierto una serie de caminos, nuevos por sus principios, en la selección de plantas, animales y microorganismos. Figuran entre ellos el empleo de métodos de gobierno genético por heterosis, el empleo de la poliploidia experimental, la selección químico-radiactiva y otros. El papel de estos nuevos métodos a la luz de las tareas que se plantean ante la necesidad de aumentar en gran escala los recursos alimenticios del mundo, su correlación con los viejos métodos clásicos de selección, todo ello requiere un profundo análisis metodológico. Lo mismo sucede con las nuevas orientaciones de la genética médica como son la citogenética del hombre, la genética de

las poblaciones humanas, la curación de las enfermedades hereditarias, la lucha para evitar que éstas se difundan en las poblaciones, la valoración de la influencia que tienen la radiación y los mutágenos químicos en la herencia del hombre, el problema de los tumores malignos, el de la incompatibilidad inmunogenética de los tejidos y otros. Hay que estudiar, entre otros, problemas tan fundamentales como la obtención de mutaciones dirigidas y el descubrimiento de la naturaleza de la programación genética en el desarrollo individual.

El problema de la vida —en última instancia, es lo fundamental de cuanto interesa al hombre— se encuentra en el centro de las ciencias naturales.

Los nuevos aspectos de la biología han empezado ya a influir prácticamente en los recursos mundiales de productos alimenticios y de materias primas, así como en la medicina, que lucha por la salud y la vida del hombre. En un futuro próximo, esta influencia aumentará enormemente.

Dirigir la vida partiendo del conocimiento de su esencia, tal es el problema central de la biología contemporánea. El principal objetivo de esta ciencia es resolver las tareas prácticas de la agricultura y de la medicina, así como dirigir la evolución en general en nuestro planeta.

Es necesario crear las condiciones para elevar sensiblemente el rendimiento de las plantas, de los animales y de los microorganismos; dominar los nuevos procedimientos de lucha por la salud, la larga juventud y la longevidad de hombre; elaborar métodos de dirección de los procesos genéticos que se hallan en la base de la evolución de las especies.

Sirve como garantía de que esta nueva etapa se recorrerá, el hecho de que la genética, gracias a los grandes resultados que ha obtenido durante los últimos veinte años, ha ocupado el puesto central de la biología y se ha situado en el primer plano de las ciencias naturales. Arrastrando tras de sí a toda la biología, la genética se ha convertido en el campo principal de la honda aplicación de la física, de la química y de la matemática para investigar el problema que trata de la esencia de la vida, así como para elaborar procedimientos, cualitativamente nuevos, en la dirección de la herencia de los organismos.

Llega la hora de la estrecha alianza entre la genética y la selección, entre la genética y la medicina, entre la genética y la ciencia de la educación, entre la genética y los problemas biológicos que surgen al investigar el cosmos, y, finalmente, entre la genética y los problemas biológicos relacionados con la aplicación de la energía atómica en la práctica. La genética como ciencia central de la vida no sólo se convierte en una disciplina teórica importantísima, sino, además, en una ciencia práctica, que penetra hondamente en la vida e influye seriamente en el nivel a que hoy llegan las fuerzas productivas de la sociedad ligadas a la agricultura y a la medicina.

El futuro que se abre ante la genética augura a la humanidad bienes incontables. La genética se utilizará plenamente en la lucha por la salud y el bienestar del pueblo soviético.

Los resultados de la genética en el descubrimiento de la esencia material del fenómeno de la herencia, de la naturaleza química del gene, de la esencia biológica de los fenómenos de integridad en la vida y en el desarrollo de la célula, así como la elaboración de los poderosos métodos de dirección de la vida que hacen posible se enfoque de nuevas maneras la resolución de las tareas planteadas en la agricultura y en la medicina, constituyen una importante etapa en el actual desarrollo de las bases materialistas dialécticas de las ciencias naturales, son un arma para la activa transformación de la naturaleza.

CUARTA PARTE

PROBLEMAS FILOSÓFICOS DE LAS CIENCIAS QUE TRATAN DE LA TIERRA

E. K. FIÓDOROV
Académico

LAS TENDENCIAS DEL DESARROLLO Y EL ALCANCE SOCIAL DE LAS CIENCIAS QUE TRATAN DE LA TIERRA

En más de una ocasión criticó Lenin las concepciones de los partidarios de Malthus poniendo de manifiesto su falta de valor científico. Por ejemplo, en el largo artículo titulado *El problema agrario y los "críticos de Marx"*, al analizar las tentativas que los malthusianos de aquel entonces (es decir, de comienzos de nuestro siglo) llevaban a cabo para cargar a la cuenta de presuntas leyes universales de la naturaleza las calamidades y las insuficiencias que sufre la sociedad por causas puramente sociales, escribió: "Tenemos, pues, que la «ley de la fertilidad decreciente del suelo» no es en absoluto aplicable a los casos en que la técnica progresa y los modos de producción se transforman; tiene sólo una aplicación sumamente relativa y convencional a los casos en que la técnica permanece invariable" (1).

Los decenios transcurridos han confirmado por completo el acierto de esta tesis formulada con brevedad y precisión, así como también la necesidad de analizar circunstanciadamente todo el problema de la acción recíproca que se establece entre la sociedad y la naturaleza circundante. El rápido aumento del volumen de las riquezas naturales que se utilizan, el incremento de la acción de la sociedad humana sobre el medio natural y el impetuoso crecimiento de la población hacen que el hombre se pregunte una y otra vez si son suficientes los recursos de nuestro planeta para satisfacer las necesidades de sus habitantes, cómo han de utilizarse racionalmente tales recursos y cómo hay que evitar la acción nociva de la sociedad sobre la naturaleza tanto en el plano de las ciencias naturales como en el sociológico. Examinaremos al respecto —huelga decir que en sus rasgos más generales— algunas tendencias del desarrollo y los problemas sociales de las ciencias que tratan de la Tierra: la geología, la geografía, la meteorología, la oceanografía, la geoquímica y otras.

---

(1) *V. I. Lenin*, "Obras", t. V, pág. 102.

Las ciencias de la Tierra estudian fenómenos y procesos que se desarrollan en su mismo cuerpo, en su superficie, en los océanos, en la atmósfera, en el espacio cósmico próximo a nuestro planeta, y también la interacción de estos procesos entre sí. Por regla general se ocupan de procesos complejos en los que se influyen recíprocamente, enlazándose de manera extremadamente complicada, numerosos fenómenos físicos, químicos y, en las envolturas externas del planeta, biológicos.

Durante mucho tiempo, las observaciones en el medio natural y el análisis de sus resultados han sido prácticamente el único método posible de estudio de los fenómenos de la naturaleza. También hoy en día tales observaciones y análisis proporcionan la información fundamental a las ciencias que tratan de la Tierra. En esto radica la diferencia esencial de dichas ciencias respecto a otras, por ejemplo la química, la física y las secciones principales de la biología, cuyo método fundamental de investigación ha sido siempre el experimento, es decir, la reproducción del fenómeno estudiado en condiciones controlables.

Además del objeto de las ciencias que tratan de la Tierra y del método de sus investigaciones, es necesario tener en cuenta sus fines. A mi modo de ver, el fin cardinal de las ciencias de la Tierra es el de elaborar datos necesarios a la sociedad para la organización eficaz de su interacción con el medio natural. Desde luego, todas las ciencias, en última instancia, proporcionan a la sociedad medios para la interacción del hombre con el mundo que le rodea. Mas en las ciencias de la Tierra se trata de conocimientos que se aplican directamente en la acción recíproca del hombre con los fenómenos naturales, con los objetos del medio natural.

Estas ciencias, al estudiar los objetos naturales concretos, tienden a describir, comprender y construir, a final de cuentas, una teoría cuantitativa de los procesos naturales propios de dichos objetos, y ello con el fin de hacer más eficiente la utilización de los recursos y propiedades del medio natural, de defenderse contra los fenómenos adversos y de crear una base científica para desarrollar la técnica de la transformación de la naturaleza. El factor esencial que determina el presente estado de las ciencias que tratan de la Tierra es, según nos parece, el constituido por el nivel, el carácter y la eficacia de la interacción de la sociedad con la naturaleza.

El estadio actual de la interacción de la sociedad con la naturaleza

En otros tiempos, el hombre primitivo y el vasto e incomprensible mundo de los fenómenos naturales se encontraban frente a frente. La naturaleza y sus recursos eran inagotables desde el punto de vista de las necesidades de la reducida población humana del planeta, la potencia de los fenómenos naturales parecía infinita en comparación con las posibilidades del hombre. Los condicionamientos insuperables del medio natural creaban estrechos ámbitos en los que la existencia

del hombre resultara posible. No obstante, la situación empezó a cambiar, al principio lentamente y luego con creciente rapidez. Intentaremos caracterizar, aunque sea a grandes rasgos, en qué grado está hoy dominada la Tierra y se utilizan sus recursos, cuál es la medida de nuestras posibilidades.

A lo largo de muchos centenares de milenios, las tribus humanas utilizaban para vivir territorios limitados y sólo tenían noción —cada tribu por separado— de una parte sumamente pequeña de la superficie terrestre. Únicamente durante los últimos milenios se desarrollaron el intercambio, las expediciones militares a grandes distancias y otras formas de relación humana, sobre todo dentro de límites continentales. En realidad, las representaciones más o menos acertadas acerca de la superficie total de nuestro globo, de sus océanos y continentes, y de los pueblos que lo habitan aparecieron sólo en los siglos XVI-XVII. En el transcurso de los últimos cincuenta años se ha dado término, en lo fundamental, al estudio y a la descripción de la superficie terrestre. La eliminación de las pocas "manchas blancas" que quedan en el mapa del mundo, sobre todo en las vastas extensiones oceánicas, ofrecerá sin duda alguna un serio interés científico, mas difícilmente podrá influir en sensible medida sobre el desarrollo de la sociedad.

Tres o cuatro siglos atrás, la superficie terrestre aparecía aún cual inmenso espacio con algunos focos, débilmente enlazados entre sí, de actividad humana. El desarrollo de la producción y el rápido crecimiento del número de habitantes de la Tierra ampliaron dichos focos y ahora los unen. Se ha terminado el desarrollo aislado, en lo fundamental independiente, de las sociedades humanas y de las civilizaciones particulares en las diversas regiones del globo terrestre. Con el pillaje de las conquistas coloniales empezó la formación de la economía mundial y de las relaciones internacionales en el planeta. El nacimiento y la consolidación del sistema socialista mundial, iniciado con la institución del Estado Soviético, han conducido a nuevas formas de interacción de los países y de los pueblos, han abierto en la época histórica contemporánea la nueva línea magistral del desarrollo de la sociedad humana.

Los lazos sociales, el traslado de individuos, de materias primas y de mercancías a todos los puntos de la Tierra, cosa que en otros tiempos constituía un serio problema, actualmente tan solo requiere una parte insignificante de los gastos generales del trabajo humano. Las relaciones económicas mundiales han transformado de tal modo la economía de los países que únicamente los mayores podrían mantener su nivel actual de existencia encerrándose en sus fronteras. Cualquier país, cualquier parte de la humanidad se une cada vez más estrechamente con muchos otros que se encuentran incluso en regiones alejadas de la Tierra. Estos lazos se multiplican en el campo de la economía, de la política, de la ciencia y de la cultura, el mundo va formando cada vez más una unidad, un todo, y sin duda no es casual que en este período se haya iniciado la salida del hombre más allá de los límites del planeta.

Han transcurrido sólo doce años desde que el lanzamiento del primer satélite artificial de la Tierra abrió la era cósmica, mas los aparatos cósmicos automáticos nos han aportado ya importante información acerca de la superficie lunar, han alcanzado la región de Marte, se han posado en Venus y traerán datos fidedignos del cosmos desde centenares de millones de kilómetros de distancia. El hombre ha aprendido a existir y a trabajar en la zona del espacio cósmico próxima a la Tierra, se ha aproximado a la Luna y se prepara para emprender vuelos lejanos. En los últimos decenios, la ciencia ha obtenido una idea, verdad es que por ahora basada en datos indirectos, sobre la estructura del universo hasta una distancia aproximada de 10^{22} Km.

Ha cambiado de manera esencial la relación con los recursos naturales. En otros tiempos, muchos de ellos no significaban nada para la humanidad, en cambio ahora casi todas las sustancias que constituyen la corteza terrestre y casi todos los tipos de energía natural se aplican de uno u otro modo en la economía. La serie de recursos naturales (renovables y no renovables) que se aprovechan se ha ampliado especialmente durante los últimos dos o tres decenios.

Los recursos naturales renovables se caracterizan por su balance o relación determinada entre la parte que ingresa y la parte que se consume. Actualmente, se aprovecha un sensible porcentaje de la parte que entra en el balance de las riquezas naturales renovables. Así, se cultiva aproximadamente el 70 % de los suelos aprovechables para la producción agrícola teniendo en cuenta los métodos que hoy se aplican en la agricultura. La cantidad global de bosques ha disminuido sensiblemente durante los últimos doscientos años, y en algunos países hoy la tala supera al crecimiento. Sin embargo, en el mundo globalmente considerado se aprovecha cerca del 40 % del crecimiento anual de los bosques. El agua dulce se utiliza en un 10-15 % (para regadío, para la industria y para satisfacer las necesidades de la vida corriente), con la particularidad de que cerca del 10 % de esta parte se evapora o se transforma químicamente con la producción industrial, mientras que la parte restante vuelve a los ríos en un estado de mayor o menor impureza. Los animales salvajes, en otro tiempo objeto de caza y principal fuente de alimento para el hombre, han quedado en cantidad insignificante y casi no cuentan en el balance de materia prima biológica. Los recursos biológicos del océano, considerados en conjunto, todavía se utilizan en grado insignificante a pesar de que algunas especies marinas han sido aniquiladas y otras están próximas a agotarse. Los recursos energéticos de los ríos se aprovechan aproximadamente en un 5 %, es decir, cerca de la mitad de su potencial (estimado desde el punto de vista de los métodos actuales de la construcción de centrales hidroeléctricas). La energía de la radiación solar directa, del viento, de las olas y de las mareas, así como del calor telúrico se utiliza en grado insignificante.

Por otra parte ha de tenerse en cuenta que en muchos países, algunos de los recursos renovables —suelo, bosque, energía hidráulica o agua dulce— se aprovechan casi por completo. En conjunto, los

recursos naturales renovables más limitados en la Tierra son, al parecer, el agua dulce, algunas especies de peces comerciales y las ballenas.

Lo que caracteriza a los recursos naturales no renovables son sus reservas conocidas. Los cálculos reiterados que muchos economistas han llevado a cabo durante los últimos decenios permiten estimar que las reservas de los minerales útiles más importantes, dados los actuales métodos de extracción y teniendo en cuenta el incremento previsible del volumen del consumo, han de bastar por un plazo que va de uno o dos siglos hasta varios milenios. Entre los yacimientos de combustibles, el más insuficiente es, según parece, el petróleo. Téngase en cuenta, sin embargo, que en el transcurso de toda la historia, el incremento de las reservas mundiales de minerales útiles —por el descubrimiento de nuevos yacimientos, por la elevación del índice de rendimiento que se obtiene del mineral, etc.— ha superado siempre esencialmente al consumo, tanto en valores absolutos como por habitante del planeta, a pesar del incremento de la población. Así, durante los últimos treinta años, las reservas de hulla y de petróleo descubiertas en el mundo han aumentado en varias veces, y también han aumentado en gran medida las reservas de otros tipos de materias primas.

Fijémonos ahora en la influencia de las propiedades del medio exterior sobre la sociedad y en la acción inversa de esta última sobre la naturaleza.

El hombre primitivo sólo pudo existir entre unos márgenes muy reducidos de condiciones naturales. La creación de medios para defenderse de las condiciones desfavorables del medio exterior ha hecho que ahora no haya lugar en la superficie de la Tierra, en el océano y ni siquiera en la zona del cosmos más próxima a nuestro planeta donde no pueda existir y actuar el hombre. A medida que crece el número de habitantes de la Tierra y se desarrolla la producción, el hombre va ejerciendo una acción cada vez mayor sobre el medio que le rodea. Uno de los factores e índices de semejante acción es la energía que la humanidad obtiene o transforma en el proceso de su actividad.

Mientras que en los tiempos primitivos cada una de las tribus —no contaban más que de algunos centenares de personas— en el proceso de su trabajo común podía desarrollar una potencia de algunos kilovatios (y entonces el número de habitantes de la Tierra difícilmente rebasaba la cifra de cien mil) actualmente la humanidad dispone de una potencia de unos 10^9 kw proporcionados por fuentes de energía de prolongada duración.

10^9 kw no pasa de ser una magnitud del todo insignificante en comparación con la energía que irradia el Sol (10^{23} kw) o con la energía del movimiento y de la rotación de la Tierra. Pero ya resulta sensible en comparación con la energía de los procesos que se desarrollan en la superficie de nuestro planeta, en la atmósfera y en el océano. Estos procesos, que condicionan la diversidad de clima y de tiempo en la esfera terrestre, entran en acción gracias al flujo de

energía solar que cae sobre la parte iluminada de la Tierra. Su potencia es de unos 10^{13} kw. Suponiendo que los pertrechos de energía se conserven según el nivel medio de los últimos cincuenta años (y lo más probable es que aumenten) dentro de unos cien o doscientos años la humanidad dispondrá de 10^{13} kw en forma de fuentes de energía de acción permanente. Aunque los recursos energéticos de la humanidad sean ahora mil veces menores que esta magnitud, no hay que considerar semejante correlación como medida de nuestras posibilidades actuales para influir sobre un fenómeno natural. En realidad son muy superiores.

La cuestión está en que el medio natural que nos rodea no posee una estructura estática. Los procesos naturales que actúan permanentemente en la atmósfera y en los océanos —movimiento de las masas de aire y de agua, ciclo hidrológico y otros— se hallan estrechamente enlazados entre sí. Los cambios que surgen en un proceso se transmiten a otro, a un tercero y a los siguientes, y a veces por un círculo de retroconexión vuelven al inicial. A menudo se producen en este ámbito reacciones en cadena automultiplicadas y estados inestables. Entonces suele bastar un pequeño choque para transferir a otra vía un proceso natural de grandes proporciones. Precisamente en tales particularidades del desarrollo de los procesos atmosféricos se fundan los métodos, hallados hace poco, para influir activamente sobre algunos fenómenos meteorológicos.

La interconexión de los fenómenos naturales y la inestabilidad que en ellos surge de tiempo en tiempo tienen otra consecuencia importante que consiste en la gran sensibilidad del medio natural por toda ingerencia en su propio régimen. La reacción en cadena automultiplicada que queremos provocar con los métodos de acción sobre el tiempo actúa en algunos casos independientemente de nuestros deseos. Así, la tala de bosques modifica esencialmente el régimen de los ríos: aumentan las crecidas de las aguas y mengua la alimentación subterránea de los cauces en los estiajes. La roturación de las estepas, si no se toman las medidas correspondientes, eleva sensiblemente la erosión del suelo. El calor desprendido en el transcurso de diversos procesos de producción, así como los productos de la combustión que se expulsan a la atmósfera, reducen la penetrabilidad de los rayos térmicos y eleva la temperatura de equilibrio de la superficie de la Tierra, etc. Las dimensiones de la ingerencia del hombre en el curso de los procesos naturales y los cambios que tal ingerencia provoca en el medio que nos rodea inquietan, y no sin justificado motivo, a amplios círculos de la población de todos los países.

A la vez que nos independizamos del estado del medio exterior para nuestra actividad práctica, necesitamos una información cada día más variada, exacta y urgente sobre los procesos que transcurren en la naturaleza. Aunque los barcos y los aviones actuales son capaces de prestar servicio cualquiera que sea el tiempo que haga, los datos sobre el estado de la atmósfera y del mar les son necesarios de manera mucho más detallada y diversa que a sus antecesores de hace unos decenios. Esta información se necesita ya no tanto para decidir si hay

que salir a la mar o no o si se ha de emprender el vuelo o permanecer en el aeródromo cuanto para calcular cuál es el vuelo más conveniente y óptimo desde el punto de vista económico, para elegir la ruta de la navegación o el régimen del vuelo, la magnitud de la carga, etc.

Cincuenta años atrás, la estructura de las capas superiores de la atmósfera o de las abisales del océano presentaba un interés puramente cognoscitivo para un puñado de científicos que se preocupaban por los correspondientes problemas. Ahora, la información sistemática sobre el estado de dichos medios es de gran importancia práctica para el funcionamiento ininterrumpido de la radiocomunicación a grandes distancias, para el cálculo del movimiento de los aparatos cósmicos y para los desplazamientos de los submarinos.

El crecimiento de las necesidades de información sobre el estado del medio exterior —de la atmósfera, del océano, del cosmos próximo y de la corteza terrestre— impulsa la organización y el rápido desarrollo de los correspondientes servicios de carácter global: meteorológico, ionosférico, sísmico y otros.

De este modo hemos llegado al conocimiento de toda la superficie del globo terráqueo y toda ella es ahora campo de nuestra actividad práctica. Ha empezado la conquista del cosmos. Hemos ampliado la posibilidad de nuestra existencia, hemos aprendido a defendernos de las condiciones desfavorables en cualquier lugar de la superficie de la Tierra, en el cosmos inmediato y en el océano. El hombre ha incorporado a su actividad prácticamente todos los recursos conocidos, renovables y no renovables, próximos a la superficie del globo: algunos en gran parte o casi por completo, otros todavía en grado insignificante.

Nuestra actividad cambia ya sensiblemente el curso de los fenómenos naturales en la superficie de nuestro planeta y empezamos a dominar los métodos para dirigir algunos de ellos. Crece rápidamente nuestra necesidad de información sobre el estado del medio natural.

Estado de las ciencias que tratan de la Tierra y tendencias de su desarrollo

El estado de las ciencias que tratan de la Tierra y las tendencias de su desarrollo están relacionados con la etapa actual, caracterizada más arriba, de la acción recíproca entre la sociedad y la naturaleza. Estas ciencias son, por una parte, un producto de la experiencia humana generalizada en el proceso de interacción con la naturaleza, y por otra son nuestra arma para seguir ampliando el frente de la interacción y para elevar la eficacia con que utilizamos los recursos naturales. ¿Qué particularidades hay que señalar en el estado actual de las ciencias que tratan de la Tierra?

Una de ellas, según suponemos, es el desarrollo de las investigaciones relacionadas con los problemas globales así como con las cuestiones que rebasan los límites de nuestro planeta y atañen al cosmos. Las ciencias que tratan de la Tierra siempre se han ocupado de fenómenos y procesos que se desarrollan en todo el planeta o en

grandes regiones suyas. Sin embargo, en consonancia con las necesidades prácticas y con el carácter del desarrollo, cada una de dichas ciencias en un tiempo dado centra su atención en determinados problemas concretos, que pueden ser de carácter global, regional o local.

Las necesidades del saber exigían que se resolvieran sobre todo problemas globales: analizando los fenómenos que se dan en todo el globo terráqueo, en toda la atmósfera, en el océano o en el cuerpo sólido de la Tierra, es posible comprender la naturaleza de tales o cuales procesos. En cambio los intereses de tipo práctico hasta los últimos tiempos han planteado tareas principalmente regionales y locales. Así, la elaboración de métodos para pronosticar el tiempo, la descripción del clima, la investigación geológica o la apreciación del peligro sísmico son necesarios ante todo para los trabajos en el territorio del propio país.

Últimamente, no sólo las necesidades del saber, sino, además, los intereses de tipo práctico orientan, cada vez con más frecuencia, la atención principal de los especialistas en las ciencias a que venimos refiriéndonos a investigar fenómenos que abarcan todo el globo. Esto, según parece, está relacionado con el crecimiento de los elementos globales en la actividad práctica. Las líneas de las comunicaciones aéreas cubren distancias cada vez mayores, las zonas marinas que el hombre explota se hallan cada vez más lejos de las costas. Y, finalmente, los vuelos cósmicos así como toda la actividad en el área del cosmos próximo tienen, como es lógico, un carácter global. Ello hace que la información sobre el estado del medio natural en todo el globo terráqueo y la comprensión de los procesos que se desenvuelven en el espacio de todo el planeta adquieran un valor práctico cada día mayor, y las ciencias que tratan de la Tierra tomen un carácter auténticamente planetario.

Pasan a tener asimismo extraordinaria importancia los problemas relacionados con el cosmos. Esto, a nuestro parecer, por una parte es una consecuencia de las nuevas posibilidades recientemente descubiertas para obtener información sobre los objetos cósmicos, y por otra parte, de las necesidades prácticas surgidas en relación con la conquista del cosmos. Así el geoquímico, que investiga como se sabe la rotación de las sustancias en la Tierra, actualmente se plantea como objetivo suyo el de estudiar las leyes generales de la rotación de las sustancias en diversos planetas teniendo en cuenta las condiciones de los mismos. Para el meteorólogo, ya no es sólo la atmósfera de la Tierra el objeto de sus investigaciones, sino, además, la de otros planetas. Las apreciaciones de la posible estructura y de las propiedades de las atmósferas de los planetas adquieren hoy en día un valor práctico esencial por los cálculos que exigen los vuelos hacia ellos y posarse en sus superficies. Necesidades y posibilidades análogas se presentan asimismo a los investigadores de otros fenómenos geofísicos. Este importante aspecto del desarrollo de las ciencias que tratan de la Tierra nos ofrece un ejemplo de la singular "cosmización" de la ciencia contemporánea.

El papel cada vez mayor de los problemas globales y cósmicos

en las ciencias de la Tierra hace que se intensifique sensiblemente la colaboración internacional, de importancia máxima precisamente en tales problemas. Durante los últimos tres lustros, han surgido un buen número de nuevas organizaciones científicas internacionales que se han sumado a las que existen y trabajan con éxito desde hace mucho tiempo. Ha aumentado visiblemente el número de conferencias científicas, simposios y congresos internacionales sobre diversos temas.

Más arriba hemos indicado que hasta hace poco tiempo el único método de investigación de las ciencias que tratan de la Tierra era la observación. Esto ha dejado su huella en el desarrollo de tales ciencias. Cada una de ellas se inició, en otros tiempos, recogiendo materiales fácticos. Obtener información, elaborar métodos y aparatos diversos para las observaciones y organizarlas en diversas zonas del globo exigía enorme trabajo y atención. Ese trabajo no está aún terminado ni mucho menos, pero en la actualidad no puede seguir siendo una tarea independiente.

Ahora, todas las ciencias que tratan de la Tierra pasan, de uno u otro modo, de las descripciones y del análisis, sobre todo cualitativo, de los materiales que las observaciones proporcionan a la elaboración de teorías cuantitativas construidas sobre una base físico-matemática. Esto no es sólo una consecuencia, a nuestro entender, de la lógica general del desarrollo de cualquier esfera de conocimientos (como es notorio, las matemáticas abarcan a todas las disciplinas científicas, no sólo naturales, sino, además, humanísticas); lo es, además, de las exigencias prácticas mucho mayores cada día, respecto al volumen y, sobre todo, a la exactitud de los datos sobre el estado del medio natural. Los valores exactos de las magnitudes que caracterizan los regímenes meteorológico o hidrológico, las reservas de los minerales útiles, la probabilidad de los terremotos y de su fuerza, etc. son indispensables para proyectar diversas construcciones o para planificar las medidas económicas. No es difícil darse cuenta de que las valoraciones erróneas o imprecisas de los parámetros del medio cuando se lleva a cabo alguna construcción conducen siempre o a la destrucción de la obra o a superfluas reservas de solidez y a gastos injustificados. Con el aumento de las dimensiones de las obras de ese género, las pérdidas por desconocer los datos necesarios resultan colosales.

Únicamente sobre la base del análisis físico-matemático se forman métodos objetivos de cálculo de los estados futuros del medio, y ante todo los pronósticos cuantitativos del tiempo. El tránsito a la base físico-matemática se hace de manera distinta en las diversas ciencias que tratan de la Tierra. Es más, no se realiza sin polémicas y discusiones. Algunos investigadores consideran que las ciencias de la Tierra son descriptivas por su propia esencia. Este punto de vista nos parece en alto grado erróneo. Suponemos que el carácter descriptivo no constituye más que el estadio inicial en el desarrollo de las ciencias en cuestión. Su ulterior desarrollo conduce inevitablemente al estadio de la formación de teorías físico-matemáticas cuantitativas, importante rasgo característico del actual estado de desarrollo de cada una de las ciencias de la Tierra. Donde se realiza de manera más favo-

rable el tránsito a dicho estado es, probablemente, en la meteorología, disciplina que hoy es difícil distinguir de la física de la atmósfera. En otras ciencias, sin embargo, por ejemplo en la geografía y en la geología, el tránsito indicado choca con muchas más dificultades.

La reestructuración físico-matemática de las ciencias que tratan de la Tierra hace que adquiera mayor alcance el experimento. En la actualidad se aplica en ellas con gran amplitud la reproducción artificial, en el laboratorio, de diversos procesos elementales: comportamiento de las sustancias sometidas a grandes presiones, propias de las capas profundas de la corteza terrestre; particularidades de las transiciones de fase del agua en las nubes, etc. También empieza a aplicarse el experimento en la naturaleza, sobre todo para elaborar métodos que permitan actuar sobre los fenómenos meteorológicos, por ejemplo estimular o retardar el desarrollo de las nubes, las precipitaciones, etc.

Ha dado origen a una penetración más o menos profunda de las ideas y de los métodos de las ciencias físico-matemáticas en las ciencias de la Tierra, la rápida reorganización técnica, actualmente en curso, de estas últimas. El hecho es de gran trascendencia, pues una de las particularidades constantes de nuestras ciencias estriba en operar con un volumen enorme de datos fácticos, que caracterizan el estado del medio natural en distintos puntos del espacio y en momentos diferentes del tiempo. El volumen de la información exigida crece a medida que la práctica nos obliga a tomar en consideración particularidades cada vez más minuciosas sobre el estado del medio. Esto, a su vez, condiciona el desarrollo de los medios de observación y de los métodos de análisis de los datos obtenidos. En cuanto a la técnica de las observaciones, los aspectos más importantes de su desarrollo consisten en la aplicación de dispositivos telemétricos, de plataformas móviles y de métodos de distancia.

Todavía hace unos lustros, lo mismo que en los cien o doscientos años precedentes, la medición del estado del medio —temperatura del aire, tensión del campo magnético, velocidad de la corriente de los ríos, etc.— era fundamentalmente obra directa del propio observador. Al parecer, ha de considerarse como el primer sistema radiotelemétrico del mundo la radiosonda que la Unión Soviética elevó en 1930. En un pequeño globo se colocaron medidores de la temperatura, de la humedad y de la presión atmosférica junto con una emisora de radio en miniatura con el fin de que estos aparatos comunicaran datos sobre la estructura de la atmósfera hasta una altitud de varios kilómetros. Luego, también en la Unión Soviética aparecieron las primeras estaciones meteorológicas automáticas —que transmitían datos regulares sobre el tiempo— establecidas en apartados lugares de tierra firme y en hielos a la deriva del Ártico, y, finalmente, los cohetes meteorológicos. Hoy en día para muchos servicios e investigaciones meteorológicos, oceanográficos y geofísicos de otro tipo se emplean sistemas telemétricos. Los sistemas de este género han adquirido especial importancia en las investigaciones cósmicas, cuando se envían en busca de información a centenares de millones de kilómetros de la Tierra,

a otros cuerpos celestes, aparatos de medición y dispositivos de mando de gran complejidad, montados en un aparato cósmico.

Desde hace mucho tiempo, las mediciones en los océanos se realizaban utilizando como plataforma unos medios móviles, los barcos. Durante los últimos decenios, se han aplicado en gran escala aviones especialmente equipados para determinar con rapidez el estado de los campos geofísicos y de diversas características de la superficie terrestre en grandes extensiones, por ejemplo, para el relevamiento magnético, para la cartografía del hielo en los mares, para el trazado del plano de temperaturas de los océanos, para la apreciación del estado de los campos de diversos cultivos, etc. Han resultado ser plataformas móviles muy perfeccionadas para determinar rápidamente las características de los elementos geofísicos en todo el espacio de nuestro globo los satélites artificiales de la Tierra. En el transcurso de los últimos años, en la U.R.S.S. y en los Estados Unidos se han creado especiales sistemas cósmicos meteorológicos que permiten recibir 1-2 veces al día un buen parte general del estado de la atmósfera en todo el globo terráqueo.

Para el progreso de la técnica de las observaciones tiene gran importancia el desarrollo de los procedimientos de sondeo a distancia de los medios planetarios. Durante largo tiempo los geofísicos han utilizado el paso de las oscilaciones sísmicas naturales a través del cuerpo de la Tierra para juzgar de la estructura interna de la misma. El análisis de la propagación de las oscilaciones acústicas que se producen en el aire a raíz de grandes explosiones ha permitido precisar las particularidades de la estructura de la atmósfera. Esto ha inducido a recurrir a las oscilaciones sísmicas, acústicas e hidroacústicas artificialmente provocadas para estudiar la estructura de la corteza terrestre, de la atmósfera y del océano. Se ha visto que las radiaciones en el diapasón de las radiofrecuencias son extraordinariamente eficaces para descubrir y medir las características de muchos fenómenos atmosféricos tanto de las zonas ionizadas en las capas superiores de la atmósfera como de las precipitaciones, de las nubes y de algunos otros fenómenos en las capas bajas.

Aplicar los sistemas de medición telemétricos, a distancia y móviles crea condiciones para automatizar el análisis y elaborar materiales, y al mismo tiempo las exige (en relación, por ejemplo, con la gran rapidez con que se obtiene la información y la cantidad enorme de datos que se han de elaborar). En las investigaciones y en los servicios meteorológicos empiezan a automatizarse las observaciones y a mecanizarse la elaboración de los datos [2]. Actualmente ya se realizan en la práctica líneas automáticas de todo el ciclo de obtención y análisis de la información meteorológica e hidrológica, desde las mediciones en las estaciones hasta los pronósticos numéricos elabo-

---

(2) Ver *E. K. Fiódorov*, "Reestructuración de la hidrometeorología". "Boletín de la Academia de Ciencias de la U.R.S.S.", 1964, Nº 1, pág. 16; *E. K. Fedorov*, "Technical Reorganization USSR Hydrometeorological Service". "Bulletin WMO", October 1964 p. 182.

rados en grandes computadores electrónicos. Ello no obstante, en otras ramas de las ciencias que tratan de la Tierra la situación es distinta. Así por ahora está insuficientemente automatizado el engorroso procedimiento de elaborar y analizar las mediciones geofísicas que se aplican en la búsqueda y exploración de minerales útiles, y en el estudio de la estructura del globo terráqueo.

Finalmente, para el estado actual de las ciencias que tratan de la Tierra, es esencial el desarrollo de los problemas que presenta la acción activa sobre los fenómenos naturales, la transformación, con un determinado fin, del medio natural. Algunas de estas ciencias a lo largo de toda su historia se han ocupado de cuestiones relacionadas con la transformación del medio natural por ellas estudiado. Así la hidrología de las aguas terrestres, la agrología y la ciencia que trata del cultivo de los bosques han crecido y se han desarrollado junto con la hidrotécnica, la agronomía, la silvicultura, etc., pero la escala de las transformaciones, la parte modificada en la actividad práctica del recurso natural, el influjo sobre los procesos naturales formados eran, antes, insignificantes. En los últimos decenios, han crecido bruscamente las dimensiones de la transformación del medio natural, han aumentando en gran medida las ingerencias en su régimen natural.

Las construcciones energéticas, de bonificación e hidrotécnicas para el transporte en breve tiempo cambian la estructura de los ríos más que los procesos naturales en mil años. Los sistemas fluviales que han sido objeto de reconstrucción constituyen ya una sensible parte de la red fluvial de toda la Tierra. Son todavía más importantes los cambios introducidos en el estado del suelo, del bosque y de otros elementos de la biosfera. Ahora bien, nuestra idea de los diversos procesos que surgen en el medio natural después de la ingerencia del hombre, en particular de las reacciones en cadena automultiplicadas y de las cadenas de mando, no corresponde ni mucho menos a las posibilidades técnicas existentes. No es difícil calcular el volumen de un depósito de agua en construcción ni el tiempo que tardará en llenarse; es mucho más difícil valorar su futuro régimen bioquímico y, correspondientemente, las posibilidades de la industria pesquera, la dinámica del borde de la orilla o el efecto que producirán las aguas del suelo elevadas en una gran superficie. No es difícil aniquilar químicamente en una importante superficie los parásitos del campo y a la vez todos los demás insectos, pero es difícil calcular cuándo se establecerá un nuevo equilibrio ecológico en tal superficie, cómo será y cuál será su influencia final sobre el cultivo que se protege.

Han hecho falta muchos años de investigaciones para comprender los complicados procesos de traslación y caída en la superficie de la Tierra de las partículas radiactivas que se forman a consecuencia de las explosiones atómicas pese a que ya se conocían antes las leyes fundamentales del movimiento de la atmósfera. Todavía hay muchas cosas poco claras en las complejas perturbaciones que una elevada explosión nuclear produce en el medio, sumamente sensible, de las capas superiores de la atmósfera.

Mas, si por una parte existe el peligro de que aparezcan en el

medio natural efectos "secundarios" no previstos y a menudo no deseables como resultado de nuestra actividad, la gran sensibilidad de ese medio, como ya hemos dicho más arriba, abre la posibilidad de dirigir algunos procesos naturales. Por ejemplo, en meteorología se emplea en gran escala la reacción en cadena automultiplicada del tránsito al estado cristalino de la nube acuosa que se enfría. Para provocarla, basta introducir en un kilómetro cúbico de nube (mediante un obús, un cohete o arrojándolos desde un avión) varias decenas de gramos de yoduro de plata o de otra sustancia apropiada para que se formen núcleos de cristalización. En determinadas condiciones, el ulterior curso de esta reacción puede hacer que la nube o la niebla se dispersen, que caigan pequeñas precipitaciones o se frene el desarrollo de una poderosa nube de granizo. Obsérvese que unas decenas de gramos de un reactivo adecuado introducido en la nube provocan cambios esenciales en procesos que poseen una potencia de decenas de millones de kilovatios. En la U.R.S.S. se practica la dispersión de las nubes bajas y nieblas en los aeródromos durante la época invernal, así como la defensa de los cultivos contra el granizo.

Los éxitos alcanzados en el gobierno de algunos fenómenos meteorológicos locales inducen, como es natural, a examinar la posibilidad de intervenir asimismo en grandes procesos y llegar incluso a provocar cambios de clima. A nuestro modo de ver, lo fundamental en esta tarea estriba en el problema de la estabilidad y unidad climatológicas. Como resultado de cierto equilibrio relativo y móvil de un complicado conjunto de procesos que se desarrollan en la atmósfera y en el océano, el clima depende de la cantidad y composición de la energía solar que cae sobre la Tierra, de la dirección del eje de la Tierra, de la velocidad de rotación de la Tierra y de su movimiento de traslación orbital, de las dimensiones y distribución de los continentes, los océanos y las cadenas montañosas en la superficie del planeta.

Existen motivos para suponer que dados unos mismos rasgos fundamentales de la estructura y de las particularidades de rotación de nuestro planeta, puede haber no uno sino varios estados de equilibrio del conjunto de procesos que forman el clima, y que tal equilibrio puede hacerse inestable temporalmente. Si ello realmente es así, se abre la posibilidad, en principio, de modificar el clima aplicando una energía mucho menor que la necesaria para mantenerlo. Desde luego, tampoco en este caso podría pensarse en un clima cualquiera, sino en uno de los climas posibles que, siendo más favorable en unas regiones de la Tierra, probablemente sería menos cómodo en otras.

Hoy en día difícilmente puede considerarse actual la tarea de modificar el clima. Sin embargo, las crecientes dimensiones de la ingerencia en el medio natural y la necesidad de calcular con precisión sus consecuencias, las posibilidades que se presentan de gobernar algunos procesos naturales, la conciencia del peligro de que surjan en el medio natural indeseables reacciones en cadena automultiplica-

das, todo ello ha elevado en gran medida el interés por los problemas de la ingerencia activa en los procesos naturales [3].

Algunos problemas sociales

Examinemos el problema de carácter social, a nuestro modo de ver básico, que se plantea a las ciencias de la Tierra, el problema de la utilización racional de los recursos naturales del planeta en su conjunto.

Como se sabe, el problema de la suficiencia de los recursos naturales para satisfacer las necesidades de la sociedad humana en rápido crecimiento se ha convertido en social desde la época de Malthus. Mientras que éste procuraba explicar y fundamentar la inevitabilidad de la pobreza y de la miseria en la sociedad de su tiempo por la desproporción entre la población creciente y la decreciente fertilidad del suelo, sus actuales discípulos enfocan el problema de manera más amplia. Señalan el carácter limitado de todos los recursos naturales de nuestro planeta y afirman que esa limitación pondrá un término al desarrollo de la sociedad en general. En el aumento, que se acelera, del número de habitantes de muchos países en desarrollo cuyas economías presentan ritmos de crecimiento todavía relativamente bajos, buscan la explicación de la difícil situación económica de los países aludidos, y creen que la única manera de salir de ella es reducir el crecimiento de la población.

Preciso es señalar que la extrapolación misma del número de habitantes de la Tierra sobre la base de los ritmos actuales de su crecimiento resulta muy discutible. En el futuro, la sociedad humana, organizada, como es lógico podrá limitar su crecimiento a un determinado nivel si lo estima necesario.

Diremos de paso que a la humanidad se le plantea el problema, cada vez más serio, de regular no sólo su composición cuantitativa, sino, además, cualitativa, el problema de la educación y de la formación en el sentido más amplio de la palabra. Requieren especial atención los siguientes aspectos del problema citado: la combinación armónica de los intereses personales de cada individuo y los sociales de la colectividad; la transferencia oportuna y eficaz de cuanto hay de más valioso en la cultura universal, cuyo enorme y rico patrimonio se incrementa rápidamente, a cada una de las nuevas generaciones que entran en la vida; la adecuada preparación profesional teniendo en cuenta las necesidades presentes y futuras de la sociedad, así como los intereses de cada individuo.

Vemos que ahora sólo en los países que han emprendido el camino del socialismo se presta la debida atención a este problema, y

---

(3) Ver *E. K. Fiódorov*, "La acción activa sobre los procesos meteorológicos". "La meteorología y la hidrología durante los 50 años de Poder Soviético", Leningrado, 1967; *G. K. Sulakvelidze, N. Sh. Bibilashvili V. F. Lapcheva*, "La formación de precipitaciones y la acción sobre los procesos del granizo", Leningrado, 1965; *E. K. Fedorov*, "Weather Modification". "Bulletin WMO", July 1967, p. 122.

sólo en ellos encuentra, éste, una solución de principio y acertada. La sociedad que carece de un fin determinado y de una perspectiva de desarrolló a largo plazo, no está en condiciones de resolverlo.

En el problema de regular la composición cualitativa de la sociedad pueden aparecer, también, aspectos totalmente nuevos y dificultades imprevistas. Según estiman varios biólogos, los éxitos obtenidos en el estudio del mecanismo de la herencia muy pronto nos permitirán dominar determinadas funciones de dicho mecanismo y, en consecuencia, planificar y crear algunos rasgos de las futuras generaciones. Ahora probablemente en la mitad de las familias del mundo los cónyuges pueden tener o no hijos según deseen, y tal vez no está muy lejos el día en que los padres, con procedimientos al alcance de todos, podrán conferir a su futuro hijo aptitudes especiales para la música o la literatura, rasgos de agresividad o de bondad. Los problemas sociales y éticos que con ello surgen, ¿no van a ser, como teme A. Buzzatti-Traverso [4], mucho más complejos que el de regular el aspecto cuantitativo de la población? No podemos examinar aquí estas interesantes cuestiones. Lo importante para nosotros es poner en claro si la limitación de los recursos naturales de nuestro planeta, ahora o en un próximo futuro previsible, representa una amenaza de principio para el bienestar de la humanidad en crecimiento, si pone un término al desarrollo de la sociedad humana.

Es evidente que la Tierra y todas sus riquezas tienen cierta magnitud limitada. Sin embargo, la eficacia de su aprovechamiento en el amplio sentido de la palabra, gracias precisamente al mismo progreso de la técnica y al cambio de los medios de producción, como escribió Lenin [5], se incrementa con tanta rapidez que las posibilidades potenciales de satisfacer las necesidades fundamentales de la sociedad humana a lo largo de toda su historia crecen más rápidamente que estas últimas. Citaremos algunos ejemplos. Si evaluáramos, en función del nivel de los conocimientos de mediados del siglo pasado, la cantidad de energía que podía obtenerse utilizando hasta el fin todos los recursos y procedimientos de aprovechamiento de aquél entonces conocidos, obtendríamos como resultado cerca de 10.000 kwh por persona. La evaluación actual es de unos 200.000 kwh. Fácil es comprender que este crecimiento de las reservas potenciales de energía se explica por el progreso alcanzado en cien años en la obtención de energía. Se han descubierto nuevas reservas de minerales útiles, se han hallado nuevas fuentes de energía, se ha elevado el rendimiento de los transformadores de energía, etc. Todo ello, sin tomar en consideración fuentes conocidas ya en principio y sin duda alguna accesibles en el futuro, como la transformación directa de la energía solar, el calor telúrico, las mareas, el viento, por no hablar ya de la energía de la síntesis nuclear. Y en realidad, hemos de contar también con que se van a descubrir procedimientos, nuevos por sus principios, de

(4) Ver *A. Buzzatti-Traverso*, "Las tendencias de la biología contemporánea y la nueva responsabilidad moral". "El mundo de la ciencia", 1967, Nº 4, pág. 13.

(5) Ver *V. I. Lenin*, "Obras", t. V, pág. 102.

obtención de energía. Es indudable que a la humanidad no la amenaza el hambre energética.

Tampoco nos amenaza el hambre en el sentido directo de la palabra. Prueba de que el rendimiento de la agricultura crece sin cesar es el hecho de que la población en ella ocupada se reduce sistemáticamente. Bastaría hacer extensivas a toda la agricultura del planeta las normas de eficiencia alcanzadas ya en los países adelantados en este campo para obtener un incremento enorme, en varias veces, de la producción. Y ello, siendo muy bajo, inferior al 1 %, el rendimiento de la reacción de fotosíntesis, a cuya cuenta se obtiene, en última instancia, toda la producción agrícola. Ahora bien, en principio no hay fundamento alguno para considerar como máximo el nivel actual de rendimiento de la reacción indicada. Como es notorio, por ahora se utiliza en grado muy pequeño la colosal producción biológica del océano. Ya existen distintos métodos de preparación de productos alimenticios sintéticos. Vemos, pues, que también en este campo se incrementan rápidamente las posibilidades de obtener víveres por habitante.

Ya hemos señalado más arriba el rápido aumento de las reservas de materias primas minerales descubiertas. No será necesario demostrar que se da una situación análoga en el problema de los materiales. Ante nuestros ojos se desarrollan con suma rapidez ramas enteras de la industria que elaboran materiales necesarios al hombre para satisfacer sus necesidades más diversas, y se utilizan para ello materias primas naturales de las más accesibles y baratas. Por tanto, las necesidades de la sociedad, que crecen con el aumento de la población y de las necesidades de los individuos, no han de compararse con una magnitud limitadora constante, sino con una variable y creciente posibilidad de satisfacerlas gracias al descubrimiento de nuevos recursos naturales de nuestro planeta y a un aprovechamiento más eficaz de los que ya se conocen.

Hasta ahora la posibilidad de satisfacer, en principio, las necesidades de la sociedad, considerados los recursos del planeta en conjunto en relación con toda la humanidad, ha aumentado más rápidamente que las necesidades. No hay razones para creer que tal situación cambie en el transcurso de los siglos próximos. Por otra parte, no podemos afirmar, como es lógico, que siempre será así. La limitación de las dimensiones y de la masa de la Tierra tal vez cree, en un futuro lejano, determinados límites para cierta magnitud óptima de su población.

Sin embargo, la puerta del cosmos está ya abierta, y nos separan decenios, no siglos, de las comunicaciones con otros planetas. No se trata de una hipotética "colonización" de otros planetas, sino de que llega la era cósmica en el desarrollo de la sociedad humana, un período en que el marco de la actividad práctica del hombre ya no quedará circunscrito al globo terráqueo, sino que se extenderá, en un futuro previsible, a la Luna y a los planetas más próximos del sistema solar, y luego, indudablemente, más allá.

Difícil es prever ahora en qué formas concretas utilizará la huma-

nidad los recursos naturales del universo fuera de la Tierra. Sin embargo, el hecho de que la posibilidad de salir al cosmos y de volar a otros cuerpos celestes se haya alcanzado mucho antes —siglos— de que la humanidad pueda acercarse al aprovechamiento máximo de las riquezas de su planeta constituye, a nuestro parecer, el ejemplo más general y convincente de que el incremento de las posibilidades de la humanidad se adelanta al crecimiento de sus necesidades. Por consiguiente, nunca —ni en el pasado ni en el presente ni en el futuro— ni los recursos de la naturaleza que nos rodea ni las leyes a que ésta se subordina han creado ni pueden crear obstáculos al crecimiento y desarrollo de la sociedad humana.

De vez en cuando se producen en la biosfera catástrofes singulares a consecuencia del rápido crecimiento numérico de organismos en alguna región sin que cambie el volumen de los recursos que se utilicen, o bien porque se reducen o desaparecen los recursos utilizados sin que varíe la población. En estos casos el equilibrio sólo puede restablecerse, realmente, a costa de la propia población, muerte por hambre o migración en masa a otras regiones, dado que la eficacia de la interacción de animales y plantas con el medio circundante sólo se eleva en virtud de lentos cambios de su naturaleza biológica y formación de nuevas especies. Dichas tesis, sin embargo, no son aplicables a la sociedad humana.

Los callejones sin salida malthusianos habrían podido surgir en cualquier estadio del desarrollo de la humanidad, en los más diversos niveles numéricos de su población, si la técnica no hubiera progresado, si no se hubieran transformado los medios de producción. Es evidente que no ya la población actual de la Tierra, sino ni siquiera una población sensiblemente menor podría subsistir dedicada a la caza o a las formas primitivas de la ganadería a semejanza de nuestros remotos antepasados; para ello, los recursos naturales no bastarían. Ahora bien, sólo cabe hablar de un sobrante de la población del planeta en el futuro si nos basamos en las actuales posibilidades de aprovechamiento de los recursos y suponemos que se interrumpe el progreso técnico.

El desarrollo de la sociedad humana en interacción con la naturaleza que nos rodea puede parangonarse, al parecer, con una reacción en cadena cada uno de cuyos estadios crea todas las condiciones necesarias para el sensible crecimiento y la ampliación del siguiente. La sociedad humana constituye el grado superior, sujeto a ley, del desarrollo de la vida en el universo, un desarrollo que no tiene límites ni en el espacio ni en el tiempo. En este sentido, apoyamos la concepción interesante y profundamente optimista de G. F. Hillmey [6].

Conviene insistir una vez más en que al hablar de las posibilidades de la sociedad humana nos referimos a las posibilidades de principio contenidas en el correspondiente nivel del progreso científico y técnico. En cualquier país las posibilidades prácticas se dife-

---

(6) Ver *G. F. Hillmey*, "La física de la biosfera y sus bases", Leningrado, 1966.

rencian esencialmente de las de principio. Mas, las causas de que así sea se encuentran ya en el dominio de los fenómenos sociales. Así, la larga explotación colonial y el atraso técnico —que es su secuela—, la insuficiencia de personal calificado y otras causas sociales han hecho que en el transcurso de los últimos veinte años los países en desarrollo hayan elevado el rendimiento de la producción agrícola en un 8 %, mientras que los Estados Unidos y el Canadá hayan elevado el suyo, que ya no era pequeño, en un 15 %. Si el incremento de la población en un país en desarrollo es del 2 % y el ritmo de crecimiento de su economía es del 2,5 %, difícil será, como se comprende, esperar en él un rápido crecimiento del bienestar. No es de extrañar que en semejante situación un país busque un remedio temporal en la disminución planificada de la natalidad. Ahora bien, la solución fundamental estriba en elevar rápidamente el crecimiento económico. Esto es perfectamente posible. Así lo demuestran numerosos ejemplos del desarrollo de los países socialistas, digamos el de las repúblicas centroasiáticas de la Unión Soviética. Tan solo causas sociales impiden utilizar en la práctica, eficientemente, las posibilidades que en principio ofrecen los recursos de la naturaleza.

Son significativas las diferencias de actitud de los países de distinto régimen social frente a los recursos naturales. Los países socialistas, después de declarar patrimonio del pueblo todas las riquezas naturales de sus territorios, toman desde el primer momento serias medidas para mejorarlas, conservarlas y desarrollarlas. Recordemos, a este propósito, que en el borrador del plan de trabajos científico-técnicos de la Academia de Ciencias que compuso Lenin [7], el problema de estudiar con amplitud y urgencia, e inventariar, las riquezas naturales del país se planteaba como uno de los más importantes. Para resolverlo, en 1918-1920 se organizaron grandes institutos de investigación científica así como expediciones de prospección y de exploración. Esta es la línea que sigue manteniendo el Gobierno Soviético. Del mismo modo actúan los otros países socialistas. El resultado ha sido que las reservas exploradas de minerales útiles han aumentado en decenas de veces y satisfacen por completo las necesidades actuales y en perspectiva de los países socialistas. Se ha podido desarrollar en grandiosas proporciones la construcción hidrotécnica, se ha establecido la ruta marítima del Norte, etc.

En los países en desarrollo, liberados hace poco tiempo de la dependencia colonial, ha surgido una compleja situación en lo que concierne a las riquezas naturales. Por regla general, dichos países son extraordinariamente ricos en recursos de ese tipo. Mas la lucha por la posesión de los yacimientos de minerales útiles, los bosques, los terrenos de cultivo y las aguas en el propio territorio ha resultado en muchos casos mucho más difícil y complicada que la lucha por adquirir la independencia política formal. También ha de tenerse en cuenta que en el período del dominio colonial, las metrópolis no

(7) Ver *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXXVI, pág. 228-231. ("Obras escogidas en tres tomos", edic. cit., t. II pág. 726).

hicieron ni mucho menos lo posible para estudiar globalmente y desarrollar los recursos naturales de las colonias. Lo único que les interesaba era aquello que prometía elevados beneficios en breve plazo. El resultado fundamental de semejante política es el nefasto sistema de los monocultivos. Crean dificultades complementarias la falta de personal preparado del propio país, la falta de experiencia y de equipos. Pero los grandes esfuerzos que los países en desarrollo realizan en esta cuestión de tanta trascendencia para ellos y la ayuda que los países socialistas les prestan permitirán sin duda alguna superar esas serias dificultades. Los países en desarrollo, a final de cuentas, arrancarán sus riquezas naturales de las manos de los monopolios extranjeros y las pondrán al servicio de sus intereses nacionales [8].

En los Estados capitalistas desarrollados, el problema de los recursos naturales también se ha planteado últimamente como uno de los problemas estatales inaplazables. En el territorio de los países aludidos, después de unos dos siglos, poco más o menos, de rapaz explotación de dichas riquezas, se ha llegado a una situación muy crítica en lo que respecta al agua, a los bosques, al suelo y a algunos minerales útiles. La amenaza de aniquilar o dañar gravemente las riquezas naturales ha inducido a tomar medidas racionales para protegerlas y utilizarlas de manera planificada: se lucha contra la erosión del suelo, se regula severamente la tala de los bosques, se elaboran diversas medidas para combatir la contaminación del agua y del aire, se crean parques nacionales naturales modelo, bien cuidados. Sin embargo, los países capitalistas desarrollados toman semejantes medidas sólo en sus propios territorios.

Los monopolios de los Estados Unidos y de otros países occidentales explotan con usura las riquezas naturales en el extranjero, sobre todo en los países en desarrollo, con lo que obtienen inmensos beneficios. Se aferran tenazmente a sus posesiones y privilegios, adquiridos en el período del dominio colonial, procuran consolidarlos y ampliarlos en el plano económico. Toda la política estatal de los Estados Unidos y de otros Estados occidentales respecto a los países en desarrollo, tiende, como es bien notorio, a reafirmar y ampliar las posibilidades de la más desvergonzada explotación de las riquezas naturales y del trabajo humano en dichos países.

Por otra parte, los Estados Unidos vienen tomando últimamente diversas medidas para asegurarse las condiciones más ventajosas en la explotación de los recursos de nuestro planeta que todavía "no son de nadie", las aguas oceánicas, la plataforma continental y el fondo del mar. Se preparan para el posible reparto o conquista de estas riquezas.

Así, pues, por causas puramente sociales —existencia del régimen capitalista, subordinación económica de unos países a otros, colonialismo y neocolonialismo, falta de unidad y de amplia colaboración en la sociedad humana tomada en su conjunto— enormes posibilidades

(8) *E. K. Fedorov*, "Some Problems relating to Developing Countries", "Impact", 1963, vol. XIII, Nº 4, p. 273.

de aprovechamiento eficaz de las riquezas naturales se realizan sólo en pequeña parte. En nuestro planeta coexisten formas de producción agrícola técnicamente avanzadas y formas atrasadas, no eficientes. Esto significa que los terrenos de cultivo existentes en la Tierra, tomados en conjunto, no sólo se utilizan irracionalmente, sino, además, con rapacidad, significa que disminuye la magnitud global del fondo de los terrenos de cultivo de la humanidad.

También se utilizan con espíritu rapaz las riquezas del océano consideradas globalmente. Los acuerdos internacionales existentes sobre determinadas limitaciones de la pesca y concretamente de la matanza de la ballena, resuelven tan solo una parte muy pequeña del problema que supone regular dichas actividades. Y la verdad es que ya ahora podría pasarse del actual tipo de pesca, limitada a capturar los peces, a una economía pesquera, o más aún: a cultivar la diversa producción biológica a escala del océano mundial.

El actual nivel de los conocimientos y de la técnica permite ya ahora no sólo asegurar el aprovechamiento planificado y eficiente de todas las principales riquezas naturales renovables que existen en la Tierra, sino, además, iniciar los trabajos para cambiar los balances y las reservas generales de los recursos naturales renovables —agua dulce, bosques y otros— tanto en zonas determinadas del globo como en la Tierra toda.

Sin embargo, no es posible hacerlo mientras no exista en la Tierra una sociedad humana única por su organización y su funcionamiento. Por consiguiente, lo que crea ciertas dificultades al desarrollo de la sociedad ahora y constituye una seria amenaza, no es la insuficiencia de recursos, sino el hecho de que su utilización no esté dirigida ni organizada a la escala de todo el planeta. Esto atañe sobre todo a las riquezas naturales renovables en la época, probablemente ya no lejana, en que el grado de su incorporación a la economía aumente y se aproxime al límite.

Otro peligro se encierra en el rápido incremento de la influencia que el hombre ejerce sobre el medio natural. Más arriba hemos dicho ya que la naturaleza constituye un sistema bastante sensible en estado de peculiar equilibrio móvil. La rápida progresión del desprendimiento de calor en la superficie de la tierra como resultado de la acción industrial, la bonificación de los terrenos de cultivo, las obras hidrotécnicas, la introducción de nuevas sustancias en el ciclo rotativo natural como resultado de las expulsiones industriales a la atmósfera y al agua así como la amplia utilización de abonos químicos, herbicidas e insecticidas, todo ello causa ya un efecto directo aunque no muy grande, sensible sobre el fondo de los procesos naturales. Si se conservan los actuales ritmos de crecimiento de las fuerzas productivas ha de esperarse que dentro de pocos decenios dicho efecto en algunos casos será comparable a la dimensión de tales procesos.

Teniendo en cuenta la inestabilidad del medio natural y el surgimiento, en algunos casos, de reacciones en cadena automultiplicadas, se ha de tomar en consideración la posibilidad de que se produzcan, involuntariamente, alteraciones del estado de equilibrio del me-

dio y un tránsito a otras situaciones de equilibrio tal vez indeseables. Por otra parte, la inestabilidad del desarrollo de los procesos naturales, como ya se ha dicho, abre la posibilidad de influir sobre ellos con pequeños recursos y con un determinado fin. Sin embargo, mientras domine la reacción en los países capitalistas, trocar dicha posibilidad en realidad más bien podría provocar una "guerra meteorológica", como soñaban algunos políticos y militares yanquis en los años cincuenta[9], que plasmarse en grandes empresas planetarias para la transformación racional del clima.

Obsérvese que en cualquier esfera de la actividad humana el progreso técnico crea, y desarrolla rápidamente, la facultad de dirigir grandes procesos en el amplio sentido de la palabra. En los centros de sistemas energéticos unidos se regulan cantidades colosales de energía; la actual producción en masa puede sacar de las fábricas, en breve plazo, una cantidad inmensa de artículos de cualquier tipo; acciones insignificantes por su escala pueden ser suficientes para desencadenar la guerra nuclear, etc. El aumento de la capacidad de dirección ha de ir acompañado, como es lógico, de un incremento de su seguridad y de las garantías de su adecuación a unos fines, pues aumenta con la misma rapidez la envergadura de las pérdidas posibles y de las calamidades a que los errores de mando pueden dar origen. Se eleva realmente la seguridad de gobierno en empresas particulares, en asociaciones de producción y en la economía planificada de los países socialistas. Mas, como salta a la vista, no sucede lo mismo respecto a la humanidad tomada en su conjunto.

Existe una determinada inconexión entre la capacidad —ya aparecida y en rápido crecimiento— de producir efectos de carácter global y la falta del mecanismo social correspondiente no ya para regular tales efectos, sino incluso para estimar su conveniencia desde el punto de vista de la humanidad en general. Cuando todo o casi todo el balance de los recursos naturales renovables se halle incluido en la actividad práctica de la humanidad, serán totalmente necesarias grandes empresas, proyectadas para largos plazos, de carácter global que tendrán por objetivo transformar racionalmente el medio natural en nuestro planeta. Habrá que organizar una economía "natural" íntegra, que incluirá el cultivo de los recursos naturales en todo el planeta de manera tan precisa y racional como hay que organizar ahora la producción agrícola en una hacienda, en una plantación y en una empresa colectiva o estatal de los países socialistas. En relación con ello, el problema de la transformación adecuada del medio natural, las tareas implicadas en el cultivo de los recursos naturales más importantes pasarán a ser centrales en el conjunto de todas las ciencias que tratan de la Tierra, incluidas las ciencias de la biosfera.

En los próximos decenios tienen que coronarse el cómputo de los recursos naturales básicos no renovables y la evaluación de los balances de los recursos renovables en el planeta tomado en su conjunto y en sus diferentes regiones, han de hallarse los medios de

(9) "Bulletin of the American Meteorological Society" 1953, Nº 6.

calcular con precisión las consecuencias de los distintos influjos sobre el medio natural. Adquieren especial importancia el estudio de las reacciones en cadena automultiplicadas y la búsqueda de métodos de dirección. No es difícil ver que estos problemas que atañen a todo el complejo de ciencias de la Tierra adquieren actualmente un serio valor no ya científico, sino, además, político-social.

El estado actual de las ciencias que tratan de la Tierra y sus perspectivas nacionales, así como la colaboración, que en ese plano se incrementa y consolida con suma rapidez entre los científicos de distintos países, permiten afirmar que los problemas indicados se resolverán con éxito y oportunamente. Sin embargo, esto no basta. Para la interacción armónica con el medio natural en la próxima etapa en que el hombre utilice plenamente los recursos del planeta son indispensables un fin positivo y perspectivas de desarrollo de la sociedad humana. Marx, Engels y Lenin descubrieron ese fin, fundamentaron las leyes y perspectivas del desarrollo de la sociedad humana. A ellos debemos la certidumbre de que la unidad de la sociedad humana en general y en relación con la naturaleza de nuestro planeta en particular se alcanzará en el marco de la paz y del socialismo antes de que la utilización codiciosa de los recursos del planeta o el influjo no coordinado sobre el medio natural puedan acarrear consecuencias irreparables.

QUINTA PARTE

PROBLEMAS FILOSÓFICOS Y METODOLÓGICOS DE LA CIBERNÉTICA

A. I. BERG
Académico

B. V. BIRIUKOV
Doctor en ciencias filosóficas

LA CIBERNÉTICA Y EL PROGRESO DE LA CIENCIA Y DE LA TÉCNICA

El camino recorrido por la ciencia durante el último medio siglo es enorme. Los descubrimientos realizados en este camino —hitos en el enriquecimiento y en la profundización del cuadro científico del mundo— se deben en sumo grado a los éxitos de la matemática y de la técnica. En el plano teórico, la matemática y las ciencias técnicas han sido los elementos capitales de la revolución científica y técnica contemporánea. Y dicha revolución ha influido poderosamente en la vida económica y en las estructuras de la sociedad. Ha estimulado asimismo el progreso de la ciencia, ha llevado a adelantos cualitativos en todo el "frente" de las investigaciones básicas y de las aplicadas.

A la revolución científica y técnica va unido un doble proceso, el de *diferenciación y el de integración de las ciencias.* En este artículo vamos a hablar de cibernética. Por esto haremos hincapié en el aspecto de la dialéctica del fenómeno "diferenciación-integración" que se expresa en la *síntesis del conocimiento.*

A principios de nuestro siglo, muchos científicos estimaban la especialización en las investigaciones científicas como un fenómeno natural e insuperable: el volumen de los conocimientos crecía rápidamente, las ciencias se ramificaban. Se consideraba de "buen tono" subrayar el deslinde de las "esferas de influencia" entre la "ciencia pura" y las zonas de aplicación. Pero ya entonces frente a estas tendencias —las de diferenciación (especialización) y las de oponer la teoría a las aplicaciones— existían otras de signo contrario consistentes en integrar las ideas científicas y en consolidar las conexiones entre las teorías científicas, por una parte, y la práctica técnica y social por otra. Los científicos procuraban vencer la "confusión babilónica de las lenguas" del creciente número de disciplinas científicas elabo-

rando si no una "lengua" auténticamente "única", por lo menos un pequeño número de "lenguas" básicas, de conceptos fundamentales. Los sistemas —"lenguas"— de tales conceptos facilitaron la unión de las ideas de las diversas orientaciones científicas. Como es lógico, fue la filosofía la que cumplió esta función sintetizadora. En el filo de los dos siglos, se le unió, en el aspecto indicado, la física. Posteriormente —y esto es esencial para nuestra exposición— empezaron a desempeñar una potente función sintetizadora la *matematización de las ciencias* y el proceso de formación y desarrollo de una nueva y compleja corriente científica, la *cibernética*. Y aunque la propia matematización y la propia cibernética han contribuido a ramificar los conocimientos, su función integradora ha sido mayor y científicos e ingenieros la reconocen universalmente.

El problema de la dirección

La cibernética es una respuesta del conocimiento humano y de la praxis técnica a la necesidad social de resolver con medios exactos los problemas de dirección y de organización. En nuestro país la necesidad de dominar los procesos de dirección y de organización se puso de manifiesto desde que la nueva sociedad empezó a dar sus primeros pasos. El Poder Soviético contaba tan solo unos meses de existencia cuando Lenin señaló la tarea de organizar científicamente el trabajo y la dirección. En *Las tareas inmediatas del Poder Soviético* (1918) escribió que, resuelta en lo fundamental la tarea de aplastar a los explotadores, se insertaba en el orden del día como tarea principal la de dirigir el Estado. Lo decisivo era entonces la economía: la victoria en el campo de la economía nacional, de la producción, la organización de la contabilidad y el control populares. Lenin criticaba la naturaleza negativa del "taylorismo" norteamericano, pero a la vez proponía que se tuviera en cuenta lo que había de positivo en dicho sistema desde el punto de vista de la organización del trabajo. Con ello se contribuiría a elevar la productividad y a mejorar la organización de los procesos productivos en una sociedad basada en la propiedad social.

La guerra civil y sus secuelas retardaron la ejecución de esa labor. Mas transcurrieron cinco años y Lenin volvió de nuevo a los problemas de organización en el artículo *Más vale poco y bueno* y en otros trabajos. Lenin exigía que se tomaran enérgicas medidas para perfeccionar el aparato estatal de la República Soviética. Poco a poco se desarrolló en nuestro país un movimiento social tendente a elevar la eficiencia del trabajo y de la dirección. Surgieron las primeras colectividades con el propósito de elaborar los problemas teóricos de la organización científica del trabajo (OCT) y aplicarlos en la práctica. Desde entonces han transcurrido decenios. La economía nacional del país ha crecido en centenares de veces. Se ha acumulado una experiencia enorme en la esfera de la dirección y de la organización. A la vista están los grandes éxitos obtenidos en la planificación de la

economía nacional, en la dirección de las empresas y en las relaciones sociales.

El progreso de la economía y de los métodos de gestión planificada de las empresas nacionales exigía imperiosamente el mejoramiento de la dirección. Mas el problema de la dirección se halla estrechamente vinculado a otro problema importantísimo, el de la *información*. Para dirigir con eficiencia es necesario dominar en el plano teórico y en el práctico los procesos informativos. Ahora bien, actualmente en todos los países desarrollados del mundo, y en particular en el nuestro, el problema de la información se ha complicado. Ahora, el funcionamiento normal de los Estados desarrollados es inconcebible sin la elaboración de gigantescas cantidades de información, y ello en plazos determinados, por lo común sumamente breves. Recordemos, a guisa de ejemplo, que en el sistema de dirección de una empresa actual, moderna, se utilizan miles y decenas de miles de *tipos* diferentes de índices conectados entre sí por complejas dependencias[1]. ¡Y no digamos en secciones económicas, de producción o administrativas más importantes!

Dominar los procesos de dirección y de información no constituye un fin en sí mismo, sino que es necesario para elevar la eficiencia del trabajo, para el ulterior e ininterrumpido crecimiento de los resultados de la labor humana en el campo de la producción material, en el del trabajo intelectual y en el de la enseñanza.

En efecto: se desarrollan las fuerzas productivas y se amplía el volumen de la producción, se hace más complejo su contenido; crece el volumen de la producción y se incrementa todavía más rápidamente la complejidad del gobierno de la economía, aumentan los torrentes de información económica, se transforman los métodos de su elaboración; se eleva la intensidad de los procesos tecnológicos y se generan nuevas exigencias en lo tocante a la velocidad y exactitud del gobierno de dichos procesos; crece la economía nacional en su conjunto y adquiere un enorme significado económico la dirección en régimen óptimo; se complica el aparato de dirección de un Estado gigantesco y se elevan seriamente las exigencias de rapidez y seguridad de la recogida, elaboración, entrega y aprovechamiento de la información en todos los eslabones, etc., etc.

El desarrollo de la ciencia implica asimismo un incremento del volumen de la información que se elabora. La figura del científico solitario —en todo caso en los dominios relacionados con las aplicaciones de la ciencia— queda relegada al pasado. La resolución de los problemas científicos capitales suele presuponer, ahora, el trabajo en equipo de gran número de personas. Tales grupos disponen de instalaciones poderosas y cuentan con todas las ventajas para obtener y elaborar la información científica. Las ciencias descriptivas se transforman en ciencias exactas que utilizan no sólo métodos de investi-

---

(1) Ver *Iu. I. Cherniak, E. Z. Maiminas, V. M. Zherebin*, "La cibernética en la economía". "La cibernética al servicio del comunismo", 5. Moscú, 1967, pág. 367.

gación cualitativos y de contenido, sino, además, matemáticos y lógico-matemáticos, para la obtención de conocimientos e información acerca de sus objetos. Desarrollar métodos teóricos y crear medios técnicos para elaborar la información con el fin de obtener soluciones efectivas (óptimas en el caso ideal) constituye una auténtica necesidad de la sociedad contemporánea.

Así, pues, la cibernética —de modo análogo a la OCT en los años veinte y comienzos de los años treinta— surgió y se ha desarrollado en consonancia con las necesidades objetivas de organizar mejor el trabajo, de elevar su rendimiento y su eficiencia. Mas, a diferencia de la OCT del período indicado —el movimiento se apoyaba en recursos científicos y técnicos muy modestos—, la cibernética se asienta sobre un nuevo y poderoso campo de la ciencia y de la técnica: en la electrónica y en particular en la radioelectrónica.

La cibernética se formó como una tendencia *extraordinariamente amplia*. Su nacimiento se halla unido, por una parte, con la construcción y la aplicación de autómatas complejos, con la automatización de los procesos productivos, con la electrónica y con los computadores universales. Por otra parte, han conducido a las ideas de la cibernética campos del saber concernientes a los procesos que dirigen y elaboran la información en esferas *concretas*, por ejemplo la ciencia que trata de la vida. En tercer lugar, finalmente, la lógica interna del desarrollo de las ciencias más abstractas —ante todo de las ciencias matemáticas y de algunas secciones de la física teórica— creó un instrumental teórico ideológico que posteriormente utilizaron los fundadores de la cibernética.

La amplitud y el carácter sintetizador de la cibernética se puso claramente de relieve en la obra creadora de sus fundadores. El matemático Norbert Wiener trabajaba en los Estados Unidos y en México con científicos de otras especialidades, en particular con el fisiólogo Arturo Rosenblueth, cuando maduraba las ideas de la nueva ciencia. Claude Shannon sentaba las bases de la teoría matemática de la información partiendo de las tareas de la técnica de las comunicaciones. John von Neuman, uno de los padres de los computadores modernos, se interesaba por disciplinas que iban desde la lógica y los fundamentos de las matemáticas hasta la teoría de los juegos y la economía matemática. El matemático inglés A. Turing, autor de la primera descripción científica del "autómata abstracto", prototipo ideal de los computadores universales que aparecieron posteriormente, fue uno de los primeros en plantear, en nuestro tiempo, el conocido problema de si *¿Puede pensar, la máquina?* El científico soviético A. N. Kolmogórov, que ha realizado, a la par de Wiener, una gran aportación a los fundamentos matemáticos del nuevo campo del saber, después del reconocimiento de la cibernética, extendió sus intereses "cibernéticos" hasta el problema de "los autómatas y la vida" y el de la versificación matemática. Especialistas en el campo de la regulación automática —en particular científicos soviéticos— llevaron sus investigaciones por el cauce de las ideas cibernéticas. La teoría de la actividad nerviosa superior, de I. P. Pávlov, la reflexología y la

teoría de la conducta, por una parte, habían preparado el terreno a la cibernética, y por otra parte entraron en estrecha alianza con ella cuando se hubo formado. Bastará citar los trabajos de P. K. Anojin con su concepción de la "aferencia inversa" y los de N. A. Bernstein, quien sentó las bases de la "psicología de la actividad" y aplicó en sus obras métodos matemáticos.

De la cibernética puede decirse, en mayor medida que de ninguna otra ciencia, que es ante todo un *crisol de ideas*, un crisol que refunde las ideas científicas, viejas y nuevas, en una "aleación" de *nuevos* resultados científicos de fundamental importancia.

Sabido es que lo nuevo no siempre se abre camino sin dificultad. Esto es válido también para la ciencia. En la ciencia, como en cualquier actividad, hay personas distintas. Hay científicos de vanguardia que no temen las dificultades ni las tareas arriesgadas. Existen personas circunspectas, proclives a la "vida sosegada". Pero también existen conservadores, temerosos de lo nuevo. Por lo común, éstos procuran defender sus posiciones remitiéndose a las autoridades. En el pasado, a menudo acusaban a sus adversarios de pecar contra el materialismo dialéctico. Personas de ese tipo fueron las que en la primera mitad de la década de 1950-1960 se manifestaron contra la "pseudociencia de la cibernética" adoptando la pose de defensores ortodoxos de la filosofía materialista dialéctica. Conocido es el daño que causaron tales actitudes. La traducción del libro de Wiener *Cibernética* se retrasó en diez años. E incluso después de la edición del libro de Wiener y del general reconocimiento de la cibernética, en libros y artículos alguna vez aparecen —veladamente casi siempre —tendencias "anticibernéticas". De ahí que no deba considerarse la lucha como terminada. Ahora, ya más bien como si se quisiera hacer gala de "originalidad de pensamiento", hay quien afirma que no existe ninguna ciencia compleja sobre la dirección y la optimización, que la cibernética es un fenómeno de temporada, transitorio, una especie de moda...

Tales ideas frenan el desarrollo y la aplicación de los métodos cibernéticos, matemáticos, cuantitativos, exactos, y de medios técnicos, en particular computadores electrónicos. Y esto no concierne tan solo a las ciencias humanísticas (psicología, pedagogía, ciencia del lenguaje, economía, etc.), donde las ideas de la cibernética todavía hoy parecen algo ajeno a algunos. La prevención contra la cibernética repercute negativamente en la aplicación de los nuevos métodos e ideas también en las ciencias naturales (biología, medicina) y técnicas.

La base de principio en que se apoya la independencia de la cibernética en el sistema del saber contemporáneo, radica en el contenido de sus nociones cardinales y en el carácter de los métodos que en ella se aplican. Se trata de nociones como *dirección*, *información* y *optimización*, y de métodos como la *modelación* y la *algoritmización*.

Actualmente existen varias definiciones de la cibernética. Unas toman como base el aspecto informativo; otras, el algorítmico. En

otras se señalan los conceptos de red causal o de retroconexión como los que expresan la especificidad de la cibernética. Ahora bien, en todas las definiciones, infaliblemente, se hace referencia a la tarea de estudiar, con métodos matemáticos, los *sistemas y procesos de dirección*. Puede decirse que en la ciencia soviética se ha formado una representación estable sobre el objeto de la cibernética. La representación aludida está reflejada, por ejemplo, en la definición que del concepto de "cibernética" se da en la Enciclopedia Filosófica: "La cibernética... es la ciencia que trata de los procesos de dirección en los sistemas dinámicos complejos y tiene por base el fundamento teórico de la matemática y de la lógica, así como la aplicación de los medios de la automática, especialmente de los computadores electrónicos, y de las máquinas electrónicas de dirección y lógicas de información".

La cibernética investiga ante todo las leyes generales que caracterizan los procesos de dirección en distintas esferas. Existen tres esferas básicas de dirección. Son, en primer lugar, la dirección en el campo de la técnica; en segundo, la dirección en las colectividades humanas, y en tercero, la dirección en los organismos vivos. Pero éstas son únicamente las zonas fundamentales. Hay muchos procesos de dirección difíciles de clasificar. Por ejemplo, los que se dan en la biosfera de la Tierra. Éstos no sólo conciernen a la naturaleza viviente, sino, además, a la esfera social y a la técnica: en el mundo de lo vivo mete baza de manera cada vez más activa la civilización. Otro ejemplo: los procesos de dirección en los sistemas que constan de máquinas y de colectividades humanas.

El objeto con que la cibernética relaciona los procesos de dirección que ella estudia está formado por *sistemas dinámicos complejos*. No nos es posible caracterizar, aquí, el concepto de sistema dinámico complejo[2]. Sólo haremos referencia a los procesos de dirección en tecnología, a los procesos de dirección en las organizaciones y colectividades de personas que resuelven unas tareas determinadas (financieras, militares, etc.), a los procesos de dirección (regulación) de carácter fisiológico, bioquímico y así sucesivamente ligados a la actividad vital de los organismos, y a los procesos que se dan cuando el hombre actúa, con un determinado fin, sobre la naturaleza. La cibernética considera todos estos procesos como procesos que se realizan en sistemas dinámicos complejos.

La ulterior concretización de las representaciones acerca del objeto de la cibernética está relacionada con la puntualización de sus conceptos fundamentales que se efectúa en las partes teóricas de dicha ciencia. Al número de los conceptos aludidos pertenecen, entre otros, los de "sistema de dirección" y de "información". La dirección presupone siempre procesos informativos, motivo por el cual la cibernética también puede considerarse como la *ciencia que trata de*

---

(2) Remitimos el lector al libro de *I. B. Novik*, "Sobre la modelación de los sistemas complejos", (Moscú, 1965), donde este concepto se examina en el plano filosófico.

la información, de los sistemas de información. Así, la cibernética investiga las cuestiones de cómo se ha de realizar eficazmente la recogida, la conservación, la sistematización, la codificación, la transmisión, la entrega al consumidor, el aprovechamiento, etc., de la información.

Existe, además, todo un sistema de conceptos con cuyos términos se describen los procesos de dirección y los de información de los sistemas dinámicos complejos. Entre dichos conceptos figuran los de canal transmisor de información, codificación de mensajes, retroconexión, fin (tarea) de la dirección, homeostasis, autorregulación, aprendizaje (del sistema), adaptación, optimización y otros. Algunos de dichos conceptos como los de "(auto) aprendizaje", "homeostasis" y "optimización" resultan especialmente importantes al caracterizar los sistemas dinámicos complejos más perfectos. Se trata de sistemas que poseen la capacidad de autoorganizarse a distinto nivel, de elaborar fines de dirección y determinar los caminos para alcanzarlos. A tales sistemas pertenecen, ante todo, los organismos vivientes, los animales y el hombre, así como las comunidades de algunos de dichos organismos. Forman otro tipo de esos sistemas los del tipo "hombre-máquina". Se trata de instrumentos y máquinas (en automática, en la técnica de las comunicaciones y de la elaboración de información, etc.) tomados junto con los individuos-operadores que trabajan con ellas. En los sistemas de este tipo, el hombre compensa, en las máquinas modernas, la falta de propiedades de autorregulación más o menos desarrolladas. En semejantes sistemas "hombre-máquina" el primero, en última instancia, establece el fin de la dirección y los criterios generales de estimación de las acciones que conducen a la consecución del objetivo fijado. Y aunque ya hoy puede "confiarse" a las máquinas, dentro de ciertos límites, la determinación del fin —tarea de la función de finalidad y de los criterios de valoración de las acciones—, sigue siendo el hombre, en los sistemas actuales, el que resuelve las cuestiones más importantes y complejas de optimización.

Esto atañe, en primer lugar, a la creación de la misma *teoría de la optimización*. A la resolución de este problema están subordinados, de hecho, los tres niveles del trabajo de investigación en cibernética: el teórico, el técnico y el aplicado. En las investigaciones teóricas lo que se persigue esencialmente es crear métodos de dirección óptima en los sistemas complejos de diferentes tipos. Las elaboraciones técnicas se orientan a crear aparatos e instrumentos indispensables para realizar dichos métodos. Los trabajos aplicados tienen por objetivo utilizar en zonas concretas los métodos y los medios técnicos de optimización.

Obsérvese que todavía no estamos en condiciones de crear una teoría única de optimización de los procesos en todos los sistemas, cualesquiera que sean. No está claro si en general es posible semejante teoría única. Porque los sistemas en que transcurren los procesos de dirección —incluso si nos limitamos al puro aspecto cibernético-informativo del problema— son excesivamente diversos. Los sis-

temas pueden poseer un carácter determinista y probabilista, abierto o cerrado. Su estructura y su funcionamiento pueden ser discretos, mas también pueden plasmar de la idea de continuidad. Además pueden ser distintas las exigencias mismas de optimización. De ahí que en cibernética se elaboren muchos métodos y enfoques teóricos distintos para resolver el problema de elevar la eficacia de los procesos de dirección en su optimización. El instrumental teórico, es decir, matemático, utilizado, es extraordinariamente diverso. Se incluyen en él la teoría de las probabilidades y la teoría shannoniana de la información, la estadística matemática y la teoría de la planificación del experimento, la teoría del servicio de masas y la investigación de operaciones, la teoría de los autómatas finales y la teoría de los grafos, la teoría de los algoritmos y la lógica matemática, la teoría de los juegos, la programación lineal y dinámica, y muchos otros aspectos nuevos, en rápido desarrollo, de la matemática.

El afán de asegurar la dirección de los procesos en un régimen óptimo constituye el rasgo capital de la cibernética. La cibernética de hoy es la ciencia que trata de la dirección óptima de los procesos y sistemas complejos. Su principal tarea estriba en elaborar los caminos que permitan alcanzar los objetivos señalados con el menor gasto de trabajo, tiempo, materiales, energía e información.

La cibernética está en pleno desarrollo y resulta difícil hablar de ella en un breve artículo. Es una disciplina excesivamente ramificada y diversa en la cual trabajan centenares de potentes grupos de científicos, se llevan a cabo una inmensa cantidad de trabajos, y ve la luz un verdadero torrente de publicaciones científicas. Intentaremos, por consiguiente, hablar tan solo de lo esencial. Y, a nuestro entender, lo esencial radica en el *significado ideológico y metodológico de la cibernética, su papel en el desarrollo global de la ciencia, de la técnica y de las fuerzas productivas de nuestro país.*

Lo nuevo en el cuadro científico del mundo

La cibernética es un rico venero de nuevas ideas que entran en la intelección filosófica actual de la realidad. Esto se hace evidente no bien empezamos a poner en claro cuál es la aportación con que ha contribuido a establecer el actual cuadro científico del mundo, la metodología del conocimiento y los caminos y tendencias de la transformación práctica del mundo por parte del hombre. Y lo más importante en este terreno estriba en que la cibernética representa una nueva y poderosa "brecha" del saber en un campo de fenómenos todavía sin estudiar: *en el campo de los procesos de dirección y de los procesos informativos.*

Antes de que existiera la cibernética de hecho no se había elaborado científicamente la idea de que hay leyes generales concernientes a la dirección y a la información válidas en zonas cualitativamente distintas de la realidad. El idealismo y el fideísmo intentaban llenar la especie de vacío que existía en tales cuestiones. Se comprende, pues, la importancia que tuvo la aparición de la nueva cien-

cia. En cierto modo se "remató" la "construcción" del cuadro científico del mundo, y por primera vez en la historia del conocimiento se abrió el camino hacia el estudio objetivo, *científico, y matemáticamente exacto*, de todo cuanto se halla relacionado con los procesos que dirigen y elaboran la información en la naturaleza, en la técnica y en la sociedad. En este camino, la cibernética presta una ayuda decisiva para resolver problemas cardinales de la ciencia como son el del origen y esencia de la vida y de la conciencia.

Una de las ideas cibernéticas de perdurable significado ideológico fue la de "señalar la insuficiencia de principio de la imagen de la realidad objetiva tal como la presentaba la ciencia del siglo XIX partiendo de cuatro nociones fundamentales: las de *materia, movimiento, espacio y tiempo*"[3]. Para obtener un cuadro íntegro de la realidad, fue necesario introducir en el acervo conceptual de la ciencia el concepto de *información*, que no era un concepto científico a pesar de haber existido siempre, de hecho, en el lenguaje cotidiano.

Los procesos materiales son procesos de traslado y transformación de sustancia y energía en el espacio y en el tiempo. Esto se sabía ya antes de la cibernética. Pero ahora resulta evidente que los sistemas de los objetos materiales así como los procesos energético-sustanciales que existen en el continuo espacio-temporal son a la vez, en un sentido u otro, fuentes, portadores y consumidores de información. Ni la materia ni la energía existen desligadas de los procesos de información. Así se desprende de la idea, difundida en cibernética, de información como medida de la diversidad de los objetos de la realidad[4].

Los procesos informativos se dan en todos los actos del funcionamiento de la materia viva. La información penetra en todos los "poros" de la vida de las personas y de las estructuras sociales. El hombre vive en la Tierra en un campo gravitacional, en campos energéticos y radiactivos de toda clase. Pero no sólo en ellos. Se encuentra, además, en una especie de campo de información que actúa incesantemente sobre sus órganos sensoriales. A la luz de la cibernética es evidente que si los seres vivos no poseyeran órganos de los sentidos u otros "instrumentos" para captar la información o si no existiera el "campo de información", la vida no habría podido surgir en la Tierra ni podría existir. El hombre no puede vivir ni en el vacío energético-sustancial ni en el vacío de información.

El concepto de *información* en cibernética se puntualiza en las teorías matemáticas de la información. Dichas teorías —la estadística, la combinatoria, la topológica, la semántica y otras— arrojan una

---

(3) *V. V. Parin, B. V. Biriukov, F. S. Gueller, I. B. Novik*, "Problemas de la cibernética. Algunos resultados y problemas de las investigaciones filosófico-metodológicas", Moscú, 1969, pág. 42.

(4) Ashby desarrolló esta idea de información (ver *William R. Ashby*, "Introducción a la cibernética", Moscú, 1959; ver asimismo: *V. M. Glushkov*, "La cibernética como ciencia". "Cibernética, pensamiento, vida", Moscú, 1964; *A. D. Ursul*, "En torno al concepto de «información» y al debate para definirlo". "Información científico-técnica", 1966, Nº 7.

nueva luz sobre varios aspectos del concepto filosófico de *reflejo*. Las evaluaciones cuantitativas de la información introducidas en dichas teorías, así como las descripciones de los procesos en que ésta se transmite y se transforma no sólo proporcionan el instrumental necesario para la investigación matemáticamente exacta de los procesos de dirección, sino que además abren nuevos caminos para el estudio de las *interacciones* de los objetos materiales en general. Y es, precisamente, en tales interacciones donde se plasma en realidades la capacidad de reflejo que se encuentra en el "fundamento mismo del edificio de la materia", capacidad de la que habló Lenin. Indicaremos a este respecto que el enfoque de principio en el examen del concepto de información partiendo de la idea del reflejo como atributo general de la materia se ha afirmado sólidamente en las publicaciones filosóficas soviéticas[5].

Otro concepto básico de la cibernética —el de *sistema de dirección*— también tiene un significado ideológico fundamental. Con este concepto han entrado en el campo del examen científico formaciones materiales (o aspectos de las formaciones materiales) que antes quedaban al margen del cuadro de la realidad. Resulta, además, de singular importancia el concepto de sistemas de dirección que poseen las propiedades de adaptarse y de autoorganizarse. Los sistemas de este género son "abiertos", es decir, se trata de sistemas que se han de estudiar teniendo necesariamente en cuenta su interacción con el medio. El rasgo característico de esos sistemas estriba en poseer la propiedad de conservar con firmeza sus estados (o determinadas características de sus estados). Si estímulos externos los desplazan del "espacio" de esos estados, tienden a volver a ellos. La estabilidad de dichos sistemas "homeostáticos" —nombre que se explica porque su "prototipo" es el conocido homeostata de Ashby— se logra mediante reorganizaciones internas del sistema: cambios de estructura, "adelanto" en el funcionamiento de sus partes, etc. Por lo común, estos sistemas de dirección constan de una jerarquía de subsistemas subordinados entre sí. Los subsistemas se influyen recíprocamente transmitiendo información directora ("de mando") y anunciadora ("inversa") sobre el comportamiento de las partes del sistema.

El cuadro que acabamos de esbozar simplifica, huelga decirlo, la complejidad real de los objetos más perfectos del análisis cibernético. Existen gradaciones diversas de estabilidad, adaptación, organización y autoorganización. Nosotros tan solo señalamos una faceta del problema. Los sistemas de dirección de tipo "homeostático" que se examinan en la cibernética técnica se caracterizan por el hecho de resolver el problema de buscar y conservar (o cambiar en consonancia con algunos criterios) su estado reaccionando a estímulos del

---

(5) En muchos trabajos se habla del valor de la teoría de la información para ahondar las representaciones de la teoría materialista del reflejo. Nos limitaremos a citar: *V. S. Tiujtin*, "El reflejo y la información". "Cuestiones de filosofía", 1967, Nº 3; *K. E. Morozov*, "Problemas filosóficos de la teoría de la información". "Filosofía de las ciencias naturales", fasc. 1, Moscú, 1966.

medio que se han producido o que se están produciendo en el momento dado. Los trabajos llevados a cabo ponen de manifiesto que seguir una conducta de adaptación de ese género no es una tarea sencilla. La "estabilidad", la "ultraestabilidad" y la "adaptabilidad" de semejantes sistemas no suele alcanzarse gracias al método elemental de "pruebas y errores". Hay que recurrir a diversos métodos "ingeniosos" de búsqueda fundados en trabajos de la cibernética teórica y técnica.

Pero la naturaleza conoce también un nivel más elevado de adaptación y de autoorganización. Así lo demuestra la evolución biológica, la vida. Los sistemas vivos poseen la facultad de reorganizarse activamente. La *actividad* es ante todo la capacidad, dentro de ciertos límites, de anticiparse, de prever el futuro. Los sistemas "homeostáticos" naturales no sólo poseen una memoria que refleja su experiencia individual y "genérica", sino, además, aparatos que les permiten captar, en el curso del *aprendizaje* y de la acumulación de experiencia, las leyes del medio exterior, formar conceptos y representaciones generales (o sus análogos en peldaños más inferiores de la vida). Es esencial, además, el hecho de que dicha actividad "anticipadora" va unida a la elaboración del *fin del comportamiento* por parte del sistema dado. La *presuposición de fines* determinada por las *necesidades* de lo vivo se convierte —por lo menos a partir del nivel del mundo animal— en un elemento inseparable de la conducta de adaptación.

Descubrir la naturaleza de tales sistemas constituye una importante tarea de la cibernética. Resolverla es esencial para crear autómatas cada vez más "inteligentes". Téngase en cuenta que en este terreno la ciencia se encuentra todavía en el mismísimo comienzo del camino. Sabemos construir máquinas con memoria "individual", pero la reproducción de la memoria "genérica" en la máquina da sólo los primeros pasos. Sabemos construir máquinas que prevén la conducta futura de los objetos controlados sobre la base de las leyes conocidas del hombre (incluidas las de las propias máquinas). Mas la "inserción", en los autómatas actuales, de la propiedad de presunción de fines, tan característica de las formas de vida desarrolladas, choca con enormes dificultades.

Estamos convencidos de que estas dificultades se superarán: los sistemas cibernéticos vivos son tan cognoscibles como los "muertos". Al parecer, contribuirá decisivamente a que se logre, el enfoque "funcional" para determinar la esencia de la vida y del pensamiento. A. N. Kolmogórov mantuvo con toda energía la legitimidad de dicho enfoque [6]. Propuso que la determinación de la vida y del pensamiento se liberara de las representaciones acerca de la naturaleza concreta de los procesos físicos que se encuentran en su base. A juicio de Kolmogórov, la determinación de la vida ha de ser "puramente funcional". Además, a juicio del matemático soviético, es imposible

---

(6) Ver *A. N. Kolmogórov*, "La vida y el pensamiento como formas especiales de la existencia de la materia". "Sobre la esencia de la vida", Moscú, 1964.

describir los fenómenos de la vida desde posiciones cibernéticas "sin recurrir a una serie totalmente nueva (en las ciencias naturales exactas, que utilizan métodos matemáticos. - A. B., B. B.) de conceptos sin representaciones acerca de una *adecuación a fines* interna, propia de esos sistemas" [7].

En las publicaciones de cibernética con frecuencia se plantea el problema de elaborar circunstanciadamente la "cibernética y la matemática de lo vivo". Aunque semejante elaboración en lo fundamental es cosa del futuro[8], ya ahora resulta claro el valor ideológico de la representación de los organismos vivos como sistemas dinámicos complejos de dirección y de elaboración de datos informativos. Desde luego, semejante representación no pretende agotar la "especificidad de lo vivo". La cibernética no "suplanta" a la biología. Mas dicha representación hace posible que se describan matemáticamente los fenómenos de la vida, en particular de los mecanismos de adaptación al medio exterior y a la evolución biológica. En este terreno, están llamadas a desempeñar un gran papel las investigaciones sobre los principios estructurales de los sistemas que se autoorganizan. Dichas investigaciones se realizan tanto en el marco de la cibernética teórica como en el de la cibernética técnica, incluyendo la modelación de los procesos de adaptación y de autoorganización en los computadores electrónicos digitales.

El examen de los problemas citados abre el camino a un estudio más profundo de la cuestión relativa a la semejanza y a la diferencia entre la naturaleza viva y la inerte. Tal estudio presupone haber aclarado la naturaleza del fenómeno, más arriba recordado, de la actividad de los seres vivos. Y esto, a su vez, exige la investigación de fenómenos expresables mediante los conceptos de adecuación a fines y presuposición de fines. La cibernética precisamente permite iniciar la puntualización del concepto de *fin* [9]. Además, el enfoque de la cibernética concuerda con la conocida tesis filosófica de que la adecuación a fines y la orientación hacia un fin se han de entender como sistemas específicos de nexos de causa y efecto. Lenin escribió acerca de la actividad del hombre encaminada hacia un fin: "Las leyes del mundo exterior, de la naturaleza... son las bases de la actividad del hombre *adecuada a fines*. El hombre, en su actividad práctica, tiene ante sí el mundo objetivo, depende de él y determina por él su actividad" [10].

Es natural que la cibernética deseche la concepción fideísta y teleológica de fin. Examinando el fin o la tarea de la dirección en cibernética al margen del carácter de los sistemas veremos que el fin se reduce, en resumidas cuentas, al criterio de la cualidad de la direc-

---

(7) *A. N. Kolmogórov*, Ibíd., pág. 51.

(8) Existen ya interesantes aproximaciones a semejante "biomatemática". Citaremos, a guisa de ejemplo, el trabajo: *O. S. Kulaguina, A. A. Liapunov*, "En torno al problema de la modelación del proceso evolutivo". "Problemas de la cibernética", fasc. 16, Moscú, 1966.

(9) Ver *B. S. Ukraintsev*, "Los procesos de autodirección y la causalidad". "Cuestiones de filosofía", 1968, Nº 4.

(10) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, págs. 169-170.

ción, a aquello que, en el fondo, determina la elección y la orientación de las acciones correspondientes. En líneas generales, el concepto de fin en cibernética incluye la tendencia a conservar la estabilidad de la organización. Este concepto se halla estrechamente ligado al de *optimización* del proceso de dirección. La dirección óptima es forzosamente la que conduce al fin, a resolver la tarea de la dirección.

Dirigir significa resolver una tarea, alcanzar algún fin. En el caso general, los fines se señalan desde el exterior a los sistemas técnicos: los formula el hombre. El mundo de lo vivo es el de la elaboración interna de fines en cuya base se encuentran *necesidades*. Son precisamente las necesidades la causa de que en el mundo de lo vivo la presuposición de fines posea no sólo un carácter "interno", sino, además, *activo*. El ser vivo procura alcanzar sus fines actuando sobre el medio circundante. La orientación hacia fines late en cada uno de los fenómenos de la naturaleza viva. Claro, no es una orientación consciente hacia fines: ésta sólo se forma en el nivel de los seres racionales. Pero en cualquier nivel de la presuposición de fines ésta es inseparable de los procesos de dirección. Según feliz expresión de N. A. Bernstein, la naturaleza viva plantea constantemente la cuestión de "¿para qué?". La cibernética ha ayudado a comprender que esta cuestión es equivalente a las cuestiones por las que desde hace mucho tiempo se ha "interesado" la naturaleza: "¿cómo?" y "¿por qué?"

Las ideas de la cibernética juntamente con las de la biología y de la psicología han hecho que se desarrollara una nueva orientación de las investigaciones, la "fisiología y psicología de la actividad", vinculada ante todo al nombre de N. A. Bernstein. Por actividad de los sistemas vivos entendía Bernstein toda la dinámica de su lucha, orientada hacia unos objetivos, lucha por la existencia con mecanismos adecuados[11]. Los sistemas vivos siempre tienen necesidades de alguna clase. Las satisfacen tomando activamente del medio lo que corresponde. En lo que se manifiesta más claramente la actividad del organismo vivo es en su falta de "indiferencia" por los estímulos esencialmente importantes del medio. La respuesta adecuada del organismo a tales estímulos a menudo conduce a la movilización de todas sus fuerzas. De ahí que la actividad pueda considerarse como lo más determinante en la actividad vital, y su estudio como de importancia capitalísima para elucidar la especificidad de la vida como forma del movimiento de la materia y para descubrir la naturaleza de lo psíquico.

Hemos hablado ya de que el carácter activo de la conducta de los organismos es inseparable de la anticipación (pronóstico, previsión) de sus resultados. En cibernética empiezan a investigarse cada vez con mayor amplitud los posibles mecanismos constructores de los "modelos internos" que anticipan las situaciones y las acciones futuras. Esos

---

(11) Ver *N. A. Bernstein*, "Los problemas de la modelación en la biología de la actividad". "La modelación matemática de los procesos de la vida", Moscú, 1968.

trabajos se llevan a cabo aplicando diversos medios teóricos y modelando en máquinas electrónicas. En el aspecto ideológico ofrecen muchos puntos de concordancia con la difundida concepción cibernético-fisiológica de "reflejo anticipado de la realidad"[12].

El concepto de actividad atañe aun en mayor medida al *hombre*, pues éste se señala conscientemente fines, se formula tareas y orienta de manera adecuada su conducta. Todo el mundo comprende el extraordinario valor científico de los trabajos de Darwin y de Pávlov. Mas sus teorías no pueden explicar los caracteres específicos de la conducta humana. Desde luego, en el mundo de lo vivo se lucha por la existencia, y los seres menos adaptados perecen. En los animales, y también en el hombre, se forman reflejos condicionados. Todo esto es verdad. Ahora bien, el hombre no espera la repetición reiterada del campanillazo o de otro estímulo para segregar saliva, como hacían los perros de Pávlov, ni establece su conducta esperando una recompensa inmediata, como las palomas en los experimentos del psicólogo norteamericano B. Skinner. El hombre es activo, piensa y prevé el futuro. Conforme a ello, basándose en la experiencia anterior y en la información de que dispone, dirige su conducta orientada hacia fines, una conducta que transforma el mundo en que vivimos.

Sabido es que la cibernética no aspira a decir alguna vez la última palabra en el análisis de la naturaleza del hombre y de la sociedad humana. Pero está fuera de toda duda que facilita en alto grado dicho análisis. Es esencial, en particular, que subraye el valor metodológico del cálculo de los aspectos presuposición de fines y acción orientada hacia un fin como componentes de la actividad humana, y la importancia que tiene investigar el problema de la actividad. Es útil tener en cuenta dicha circunstancia, pues la subestimación del problema de la actividad está grávida de consecuencias indeseables. La influencia del hombre sobre el medio natural circundante crece sin cesar. Con eficacia cada día mayor, adaptamos a nuestras conveniencias y necesidades el mundo material. Mientras que hace unos decenios esta poderosa actividad sólo se esbozaba, los actuales éxitos de la ciencia y de la producción han cambiado radicalmente el panorama: las posibilidades de la sociedad humana de adaptar a sus necesidades el medio externo se han incrementado en proporciones inconmensurables. Así las cosas, es capitalísimo reducir la posible influencia nociva de la casualidad. Es necesario asegurar que se tomen soluciones óptimas en las condiciones cambiantes. Hay que dominar en medida cada vez mayor el arte de prever el futuro partiendo del saber y de la experiencia adquirida, y el de dirigir las propias acciones en consonancia con este saber y esta experiencia.

Ciencia nueva, métodos nuevos

Los métodos de la investigación científica también han sufrido

---

(12) *P. K. Anojin*, "El reflejo anticipado de la realidad". "Cuestiones de filosofía", 1962, Nº 7.

cambios esenciales bajo el influjo de la nueva ciencia. El caso es que la cibernética ha llevado a penetrar en el conocimiento de métodos como la modelación, la formalización y la algoritmización. Ha conducido a una peculiar expansión del enfoque funcional en las elaboraciones científicas: al estudiar los sistemas de dirección, la cibernética se fija sobre todo en las formas de *conducta*, de *funcionamiento* que les son inherentes. Desempeña un gran papel en la cibernética el estudio de los procesos y sistemas en los términos de "entrada" - "salida". Sin embargo ese enfoque —funcional— se completa en cibernética con el enfoque "estructural", que tiene en cuenta la textura de los sistemas de dirección. Dicho de otro modo, la descripción "entrada - salida", llamada por algunos investigadores, de *macroenfoque*, se completa con la de *microenfoque*.

Que la cuestión no puede limitarse al examen puramente funcional se comprende desde el punto de vista filosófico. Lenin escribió que "el pensamiento del hombre va profundizando infinitamente del fenómeno a la esencia, de la esencia, digamos, de primer grado, a la esencia de segundo grado, y así *sin fin*"[13]. Aplicado a la situación dada en cibernética, esto significa que a medida que el conocimiento se profundiza, a medida que se estudia de manera más completa el objeto cognoscible (en el "macronivel"), podemos inferir también conclusiones sobre la estructura interna de este último, podemos aplicar ya un "microenfoque" cibernético.

Conviene subrayar, además, que el enfoque estructural y funcional no significa renunciar en principio al cómputo de la naturaleza física de los componentes del sistema. Porque la naturaleza física —el "substrato"— de los sistemas también puede examinarse desde las posiciones del enfoque estructural y funcional: lo que en un nivel de examen aparece en calidad de componente indivisible de un sistema, si se prosigue el análisis resulta ser un sistema con unas funciones y una estructura propias. Este aspecto de la metodología de la cibernética no sólo tiene un significado gnoseológico general; en algunos planteamientos de los problemas reviste formas totalmente concretas. Por ejemplo, el enfoque funcional, relacionado con la cibernética, en la definición del concepto de vida no supera aún el problema concerniente al nexo de la "esencia" de la vida con el carácter de sus portadores. Todavía está por aclarar la cuestión de si las propiedades fundamentales de lo vivo dependen o no de la naturaleza física de los componentes de sus portadores, y si depende, en qué medida.

En todo caso la cibernética no puede considerarse como una ciencia en la que se hace abstracción de toda especificidad cualitativa de los procesos de dirección y de los procesos informativos en tales o cuales esferas de la realidad. Todo depende del grado de abstracción de las correspondientes teorías. Para las teorías de la cibernética matemática (por ejemplo, para la teoría de los autómatas finitos) dicha abstracción puede ser muy fuerte. Las cosas son distintas en las

(13) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 227.

secciones "concretas" de la cibernética, en las que se tratan cuestiones aplicadas. En las diferentes secciones de la cibernética —la teórica, la técnica y la aplicada— tampoco es igual el grado en que se hace abstracción de las facetas estructurales y "sábstráticas" de los objetos que en ella se estudian. Ahora bien, semejante abstracción globalmente considerada no puede ser "absoluta" aunque sólo sea por el hecho de que la propia naturaleza de la materia —la naturaleza que la física puede revelar— pone determinadas limitaciones a los procesos en que se elabora la información. Pero si bien esa abstracción no puede ser "absoluta", tiene que ser "relativa", es decir, ha de ser determinable por el planteamiento del problema en la investigación dada de los procesos de dirección. El enfoque funcional de los sistemas de dirección, aunque no puede agotar enteramente la esencia de los mismos, es el único que permite lanzarse al descubrimiento de su naturaleza.

La cibernética va siempre de la mano con la matemática. Tanto en el nivel del enfoque funcional como en el del examen estructural y funcional, el estudio de los objetos, en cibernética, se efectúa aplicando recursos matemáticos. Además, los métodos matemáticos de la cibernética se hallan estrechísimamente vinculados a la utilización de las modernas máquinas de calcular y de los autómatas. La posibilidad de que así sea se desprende del *enfoque algorítmico*.

El desarrollo del enfoque algorítmico constituye un rasgo esencialmente nuevo de la metodología científica de mediados del siglo XX relacionada precisamente con la cibernética. La cuestión está en que, en los sistemas de dirección, las operaciones no se efectúan "desordenadamente", sino que en su base se encuentran normas reglamentadas con todo rigor: *algoritmos*. Puede decirse que los procesos de dirección en los sistemas dinámicos complejos se reducen a la realización de determinados algoritmos. Algoritmizar los procesos de dirección en la actividad constructora y cognoscitiva del hombre presupone describir tales procesos con exactitud en un lenguaje artificial construido con precisión. La formalización tiene en su base los métodos de la *lógica matemática*. La formalización con recursos de la lógica matemática ha de aplicarse, por ejemplo, al describir el trabajo de los sistemas de cómputo, al estudiar la estructura y el funcionamiento de los sistemas de dirección, al elaborar los métodos de síntesis de sistemas. Por otra parte, la formalización y el enfoque algorítmico en cibernética no se contraponen a otros métodos de esta orientación científica, en particular a los heurísticos y a los experimentales. Estos últimos —por ejemplo, los métodos de "aprendizaje" de los autómatas, el "experimento mecánico" o la automatización de la búsqueda de las demostraciones de los teoremas— incluyen obligatoriamente la formalización y la algoritmización.

La formalización y la algoritmización constituyen lo que puede denominarse *métodos lógico-algorítmicos*. Pero, al lado de éstos, puede hablarse también de *métodos probabilístico-estadísticos* de cibernética. Mientras que los primeros —en su aspecto actual— se hallan en mucho vinculados precisamente a las ideas cibernéticas y al plan-

teamiento de problemas cabe decir que inseparables de la ciencia que trata de los procesos de dirección, los segundos tienen una larga historia anterior a la cibernética. Ésta, sin embargo, les ha dado una nueva orientación. La teoría probabilístico-estadística de la información establecida en el marco de las ideas de la orientación indicada, pertenece actualmente a los elementos cardinales de la base teórica de la cibernética. Puede señalarse también que se investigan métodos de dirección de los procesos casuales y que se modelan. Los métodos probabilístico-estadísticos son de mucha importancia para elaborar sistemas adaptivos de dirección, y sistemas de autoorganización, para la teoría y la práctica del "aprendizaje" de los sistemas de dirección, para elaborar métodos de hallar soluciones óptimas, etc.

Desde hace mucho tiempo en matemática y en física se oponían entre sí el *enfoque discreto* y el basado en la idea de *continuidad*. El análisis matemático, por ejemplo —esta poderosa herramienta del pensamiento matemático que ha predominado en matemática a lo largo de los tres siglos últimos— constituye una brillante plasmación de la idea de continuidad. En esa cuestión, la cibernetica ha aportado algo nuevo: ha contribuido a poner en claro el valor científico general del *enfoque discreto*. En cibernética, predominan los métodos discretos con que se describen los sistemas de dirección. Tales métodos van unidos al desarrollo de la matemática discreta y finita en la cual se insertan orgánicamente los métodos de la lógica, la teoría de los autómatas finitos, la teoría de los juegos y muchas otras disciplinas "cibernéticas", tan famosas hoy.

Al hablar de los métodos de la cibernética es imposible no referirse a la *modelación*, es decir, a la investigación de los objetos del conocimiento en sus *modelos*[14]. Sabido es que la modelación como procedimiento cognoscitivo surgió mucho antes que la cibernética[15]. Pero sólo ésta ha demostrado que dicho procedimiento cognoscitivo tiene un carácter científico general. Se trata de un método profundamente vinculado a la metodología del conocimiento científico en la presente etapa. Las aplicaciones de la cibernética le han abierto un triunfal camino en ámbitos del saber y de la actividad práctica en los que anteriormente la modelación no había desempeñado el más mínimo papel.

Gracias a la cibernética se han convertido en importantísimo objeto de modelación sistemas de dirección de diversa naturaleza. Ha surgido la *modelación cibernética*. Por añadidura, la cibernética, fiel a su enfoque, al modelar procura ante todo representar en los modelos los procesos informativos que transcurren en sistemas dinámicos complejos. La modelación en cibernética suele ser, a la vez, *modelación matemática*. Nos referimos, al decir esto, a la modelación que se realiza mediante el instrumental sígnico de la matemática (y de la

---

(14) Ver *Iu. Gastev*, "Modelo". "Enciclopedia filosófica", t. III, Moscú, 1964.

(15) La monografía: *V. A. Shtoff*, "Modelación y filosofía", Moscú-Leningrado, 1966, contiene una investigación filosófica del método de modelación.

lógica matemática) y se plasma en los procedimientos que se aplican en las modernas máquinas de calcular y en los autómatas (por ejemplo, en las máquinas de dirección).

La cibernética ha aportado muchas novedades en los métodos de investigación científica. Mas no pretende, desde luego, desplazar los procedimientos cognoscitivos que se estudian en gnoseología y en lógica desde hace mucho tiempo. Tampoco atenta contra los métodos tradicionales de las diversas ciencias concretas. Lo que hace es incorporar sus procedimientos y métodos a todos esos recursos teniendo muy presente, sin embargo, que en el contexto general del conocimiento científico sus métodos se aplican en unidad orgánica con toda la diversidad de los medios cognoscitivos.

La "cibernetización" del saber

En nuestros días se amplía vertiginosamente la serie de ciencias y de esferas de actividad práctica del hombre en las que la cibernética encuentra aplicación. Las ideas y los métodos de la cibernética van cambiando, gradualmente, el aspecto de muchas disciplinas científicas. Esto afecta hasta a la más "independiente" de todas las ciencias, la matemática.

La cibernética y la técnica numérica electrónica no sólo han ampliado en gran medida las posibilidades del cálculo matemático, sino que, además —y eso es tal vez lo más importante— han ejercido una seria influencia sobre el desarrollo de las propias teorías matemáticas. Las necesidades prácticas que presenta el investigar los procesos concretos de la dirección sitúan a los matemáticos ante nuevas tareas, exigen que las teorías matemáticas existentes avancen en determinados sentidos y que se creen nuevas orientaciones. Por ejemplo, presentan grandes exigencias a la matemática, la ciencia económica y la ciencia que trata de la vida, con la particularidad de que a menudo se trata de exigencias que no podían haberse dado en absoluto antes de que la cibernética penetrase en esos campos del saber.

El desarrollo de la cibernética enriquece todo el complejo de las ciencias naturales y de las humanísticas. Eso concierne a la biología, a la fisiología, a la teoría de la evolución, a la genética, a la lingüística, al derecho, etc. En su tiempo, Lenin estimaba como un éxito relevante de las ciencias naturales la aproximación del conocimiento a objetos cuyas leyes de movimiento admiten elaboración matemática[16]. La cibernética es precisamente el camino que conduce a tal elaboración. Y esto tiene un enorme valor cognoscitivo y práctico, pues la cibernética aporta *exactitud* dondequiera que se aplique. Esto atañe, por ejemplo, a la recogida de información primaria sobre los objetos de dirección. Las cuestiones de ese género ocupan un lugar preeminente en las aplicaciones de la cibernética y de la electrónica a la biología y a la medicina. No es menor la importancia de la

(16) Ver *V. I. Lenin*, "Obras", t. XVIII, pág. 326. ("Materialismo y empiriocriticismo", edic. cit., págs. 343-344).

exactitud para describir los procesos mismos de dirección y para optimizarlos. Precisamente es el hecho de aplicar los métodos matemáticos de la cibernética lo que abre el camino a la organización eficaz de los procesos en que se elaboran la información y la dirección. Y ello se traduce en progresivas soluciones tecnológicas, en elevadas potencias, en velocidades antes no alcanzables, en mediciones de una exactitud inaccesible en épocas pasadas, etc.

Claro, sería erróneo no ver las dificultades con que choca la introducción de los métodos matemático-cibernéticos en diferentes ciencias; semejante introducción no siempre se efectúa lisa y llanamente. Los obstáculos se derivan de muchas causas: de la falta de preparación de la ciencia dada para "asimilar" los métodos exactos, de la complejidad de la formalización y de la algoritmización de los problemas en la correspondiente esfera (por ejemplo, las concernientes a la traducción automática, la resolución de problemas que va ligada a dificultades mucho mayores de lo que al principio cabía esperar). Pero además de las dificultades suele haber también simplemente resistencia; no siempre se acogen con la debida comprensión los nuevos métodos. La lucha por ellos, sin embargo, se sostiene hace ya varios decenios y ahora vemos cada día con mayor evidencia los resultados: los métodos cibernéticos, matemáticos, cuantitativos cobran carta de naturaleza en todas las esferas del saber y del trabajo. No está lejos el día en que la contraposición de las ciencias descriptivas, "cualitativas", a las ciencias "exactas" aparecerá como un anacronismo.

Para que nuestras afirmaciones no parezcan gratuitas citaremos varios ejemplos que se refieren a la aplicación de la cibernética en las ciencias del *ciclo médico-biológico*, en particular en cirugía, en la diagnosis y en la profilaxis de las enfermedades. En la Unión Soviética, como en muchos otros países, cada vez se hace más estrecha la cooperación de los representantes de las ciencias exactas con los biólogos y los médicos. En nuestro país, los trabajos para utilizar los resultados de la electrónica y de la cibernética en medicina se iniciaron en 1959. Es muy grato señalar los éxitos alcanzados en los años transcurridos desde entonces. Son muy relevantes en el diagnóstico automático de algunas enfermedades graves, por ejemplo las de corazón y algunas de carácter maligno. Se obtienen buenos resultados en la utilización y en la "enseñanza" de las máquinas electrónicas para diagnosticar el cáncer del pulmón. Actualmente, los métodos de diagnosis mecánica han pasado ya la comprobación experimental para algunas enfermedades. Es más, empiezan a aplicarse prácticamente en las clínicas, por ejemplo en el Instituto de Cirugía A. V. Vishniévski de la Academia de Ciencias Médicas de la U.R.S.S.

Los computadores electrónicos correspondientemente programados se convierten en fieles colaboradores de los médicos. Los trabajos llevados a cabo han mostrado que en varios casos la eficacia del trabajo de las máquinas es muy elevada. Operando con un gran volumen de información, la máquina, en ciertas condiciones, puede facilitar un diagnóstico acertado incluso en ocasiones en que el médico no está en condiciones de hacerlo. Actualmente en la Unión Soviética más de

una decena de equipos de científicos trabajan sobre las cuestiones de la automatización de los diagnósticos. Se prevé la aplicación de medidas para dar más envergadura a esta labor.

Hoy puede afirmarse que la cibernética médica y la biológica se han formado como campos científicos independientes. Los resultados obtenidos en ellos se examinaron en el IV Congreso internacional de cibernética médica (1966), en cuyos trabajos ocuparon un lugar preeminente los informes de los especialistas soviéticos en electrónica médica y cibernética como P.K. Anojin, N.P. Béjtereva, N.N. Vasilievski, P.E. Kunin, I.P. Smirnov, E.A. Umriujun y otros[17].

Los métodos y procedimientos cibernéticos penetran con suma intensidad en las *ciencias humanísticas*. Tomemos, por ejemplo, el derecho. Este campo ofrece perspectivas a la aplicación de la cibernética tanto en la teoría jurídica como en la práctica de la instrucción del sumario. Y ya se están creando sistemas para acumular y elaborar automáticamente la información jurídica.

Para dominar los procesos informativos y los de dirección resulta de un valor extraordinario el estudio del *pensamiento humano*. Es necesario comprender mejor las leyes de la actividad mental del hombre para crear máquinas y sistemas de cálculo, de dirección y lógico-informativos cada vez más perfectos. ¡El hombre, en final de cuentas, es capaz de resolver las tareas más complejas de dirección! Su cerebro es un órgano en alto grado perfeccionado y económico que elabora información. Para modelar cibernéticamente los procesos mentales, para representarlos bajo el aspecto de algoritmos que puedan insertarse en los sistemas automáticos que crea el hombre con el objetivo de elaborar información, es esencial conocer la estructura lógica del pensamiento. Se trata de estudiar el pensamiento utilizando *métodos objetivos y exactos*. En este sentido ofrece grandes posibilidades la lógica formal (matemática) contemporánea. La interacción de la cibernética con la lógica y la ciencia del lenguaje ha llevado a la formación de la lingüística matemática. Son otro resultado de dicha interacción los trabajos para crear lenguajes artificiales —en determinadas esferas de la ciencia o de la actividad práctica— que permiten conservar y elaborar información.

En relación con la cibernética hay que destacar de manera especial los problemas de la *psicología* y de la *pedagogía*. Hoy se siente una apremiante necesidad de ampliar y ahondar los trabajos de investigación para introducir los métodos matemáticos y cibernéticos en la ciencia psicológica (en la psicología de la automación[18], en la psicología pedagógica, en la psicología de las edades, etc.). Fuera de la Unión Soviética se llevan a cabo numerosos trabajos sobre psicología matemática, sobre los métodos matemáticos aplicados en la pedagogía y sobre las teorías cibernéticas de la enseñanza. En nuestro país

---

(17) "Actes du IV Congrès international de médécine cibernétique". 19-22 Septembre. Nice, 1966, France.

(18) Traducimos por "psicología de la automación" el término ruso "inzheniernaia psijologuiia", adoptado del inglés "engineering psychology" (N. del T.).

ha alcanzado amplios vuelos la *psicología de la automación*, hecho perfectamente comprensible dado que el objetivo capital de esta disciplina es buscar los procedimientos para que la acción recíproca del hombre con las máquinas, con los autómatas, sea óptima.

Realmente, a medida que se complican los procesos que el hombre dirige, a medida que se desarrollan las máquinas y los dispositivos automáticos con que éste ha de trabajar, aumenta el volumen de la información que el hombre y la máquina han de "intercambiarse". Ahora bien, al hombre le son inherentes determinadas características psicológicas y fisiológicas que determinan las condiciones óptimas en que asimila la información. Ello explica que en el planeamiento de los dispositivos cibernéticos intervengan no sólo especialistas en matemática, en automación y en electrónica, sino, además, psicólogos. La tarea de estos últimos consiste en estudiar los "parámetros de información" del hombre con el fin de determinar cómo ha de organizarse la interacción del hombre con la máquina para que el primero trabaje en un régimen óptimo, sin sobrecargas, y la segunda conserve la elevada eficiencia de su funcionamiento[19].

Hoy en todo el mundo se promueven los trabajos sobre la *matematización de la psicología*[20], incluida la psicología pedagógica, ciencia que no hace aún mucho tiempo parecía inaccesible a la formalización y a la algoritmización. Esos trabajos tienen un gran valor. A nosotros nos interesa educar al alumno, al adolescente, al joven de uno y otro sexo, de modo que sientan necesidad interior de trabajar, de aprender, de realizar alguna actividad socialmente útil. Han de contribuir a que se alcancen dichos objetivos ramificaciones de la ciencia psicológica como la psicología pedagógica, la psicología de las edades y la psicología social. Ahora bien, estas corrientes necesitan una ayuda cada vez mayor de quienes cultivan las ciencias exactas y de los ingenieros, creadores de los dispositivos automáticos modernos. Sin instrumental moderno, incluido el cibernético, difícilmente cabe confiar que se recogerá y se elaborará con éxito la información sobre los procesos psíquicos. De los pedagogos del futuro se exigirá un nivel de preparación en psicología y en ciencias exactas muy distinto del que se consideraba suficiente a principios de siglo. Sólo así podrán conocer lo esencialmente nuevo en el contenido informativo de los procesos fisiológicos que se dan en los retículos nerviosos del hombre.

La colaboración de la cibernética con la psicología y la fisiología hace que ahora pueda ya recabarse el planeamiento, la construc-

---

(19) Los investigadores soviéticos han dedicado muchos trabajos a la psicología de la automación. Ver, por ejemplo, *B. F. Lomov*, "El hombre y la técnica. Ensayos de psicología de la automación". Moscú, 1966. Acerca de las investigaciones que en este terreno se llevan a cabo en el extranjero, véase el libro "La psicología de la automación en el extranjero". Compilación. Moscú, 1967.

(20) Constituye una recopilación fundamental de los trabajos publicados en el extranjero la edición: "Handbook of Mathematical Psychology", vol. I, II, III. New York and London. 1963-1965; véase también: "Psicología experimental", t. I y II, Moscú, 1966.

ción y la producción de instrumentos, aparatos y máquinas que estén en consonancia con las propiedades psicofisiológicas del hombre que los utiliza. Se trata de máquinas adecuadas a los objetivos que el hombre se fija en el trabajo y en la enseñanza. Por otra parte, las investigaciones de los sistemas biológicos y de la psique realizadas con una "mira" cibernética abren nuevas perspectivas a la automación. Los trabajos de esta naturaleza —se incluyen en el nuevo campo de investigaciones denominado biónica— comienzan a ser ya una ayuda para formular los nuevos principios constructivos de los sistemas técnicos de dirección[21].

En el plano filosófico importa subrayar que ni la cibernética ni la matemática "reemplazan" a las ciencias que tratan de la sociedad y del hombre. Ni la especificidad del objeto de estas ciencias ni sus esferas de investigación se invalidan en lo más mínimo ni se reducen por el hecho de que se les apliquen ideas y métodos cibernético-matemáticos. Al contrario, con ello lo que se hace es contribuir a que se amplíen y se ahonden las investigaciones que en las ciencias indicadas se realizan. Manteniéndose iguales todas las demás condiciones, la cibernética no hace sino ayudar a que se resuelvan los problemas planteados a las ciencias humanísticas. Y no hay que desdeñar semejante ayuda.

La elevación de la eficiencia en el trabajo y en la enseñanza

Uno de los objetivos cardinales de nuestra sociedad estriba en elevar la eficacia de la actividad del hombre. Como es notorio, las dos esferas más importantes de dicha actividad son el *trabajo* y la *enseñanza*, y en ambas la cibernética desempeña un papel cada día mayor. Trataremos primero de la cibernética en la esfera de la actividad laboral, productiva.

Existen muchas esferas de la actividad productiva, del trabajo, en las cuales las ideas y los métodos de la cibernética permiten obtener valiosos resultados. Hablar de todas ellas en un breve artículo es imposible. Nos referiremos a una sola, a la *esfera económica*. Ahora todo el mundo reconoce la necesidad de utilizar en economía los métodos y los medios de la cibernética, necesidad que es una consecuencia de muchos factores. Uno es la resolución de los problemas que plantea mecanizar series complejas de procesos y automatizar los procesos de producción en la industria. Mientras que automatizar parcialmente algunas operaciones productivas puede resultar hasta cierto punto sencillo, al alcance de la "vieja" técnica, la automatización compleja de los procesos tecnológicos complicados y diversos, aun-

(21) Acerca de las aplicaciones de la cibernética en las diversas esferas del saber (particularmente acerca de las investigaciones soviéticas) véase: "La cibernética al servicio del comunismo", t. V; "La cibernética. La notación de un problema". "Informaciones" del Consejo científico de «Cibernética», de la Academia de Ciencias de la U.R.S.S.", Nº 11, Moscú, 1967.

que conectados entre sí, constituye indudablemente una tarea dificilísima. Para llevarla a cabo es necesario asegurar, ante todo, la eficiencia de la dirección.

Se automatiza incluso la dirección misma de los procesos tecnológicos. Y se procura, cada vez con mayor ahinco, establecer una dirección automática en que el objetivo señalado —obtener un producto preparado de alta calidad— se alcance en el tiempo más breve posible, es decir, por el camino más favorable, óptimo. En muchos casos prácticos esta tarea puede resolverse partiendo de investigaciones teóricas previas, matemáticas. A menudo hay que recurrir también a la modelación de los procesos en computadores electrónicos digitales. Empiezan a aplicarse en la práctica otros procedimientos de optimización en los cuales el propio dispositivo dirigente en el proceso del trabajo encuentra el régimen más favorable.

La cibernética, su instrumental, sus ideas, sus métodos y medios encuentran aplicación en las esferas más amplias de la economía. El ámbito en que el papel de la cibernética alcanza más relieve es el de la creación e introducción de sistemas automáticos de mando. Y es muy comprensible que sea así. En la Unión Soviética, el personal que desempeña funciones de dirección económica ha rebasado ya la cifra de diez millones de personas. El volumen de su trabajo se incrementa sin cesar. Aumenta asimismo la necesidad de especialistas en dirección económica. Pero el gobierno de nuestra dinámica economía ha alcanzado tal grado de complejidad que el simple aumento numérico de los empleados ya no resulta eficaz. En consecuencia se ha decidido crear, en todos los eslabones importantes de la economía —desde el Gosplán de la U.R.S.S. hasta el nivel de empresas— sistemas automáticos de dirección que utilicen potentes computadores electrónicos digitales y todo el arsenal de métodos y medios de la cibernética. En toda una serie de empresas y de otros objetos económicos se han establecido ya centros de computación.

Sabido es que la máquina electrónica sólo puede trabajar con éxito si se le formula con precisión el problema a resolver, si se la dota de un programa determinado. De ahí que el introducir la técnica computadora en la economía nacional haya estimulado el estudio de los complejos procesos de la dirección económica. Sin semejante estudio ni es posible plantear el problema ni componer un programa para resolverlo. Con este fin se elabora una teoría especial, se crean métodos peculiares. Tal campo de investigaciones se denomina *economía matemática* o *cibernética económica*.

¿En qué direcciones se desarrolla la cibernética económica? ¿Qué da a la práctica? Las investigaciones fundamentales, en este dominio, se proponen crear las bases matemáticas de la estructura de los sistemas de dirección para las necesidades de la economía nacional. Tales sistemas están llamados a resolver problemas como el del gobierno de la producción, el del análisis de la calidad de los procesos tecnológicos, el de la planificación del trabajo de las empresas, etc. Las investigaciones llevadas a cabo en muchos objetos económicos han descubierto las enormes reservas que se encierran en el perfec-

cionamiento de los propios métodos y formas de dirección. Las recomendaciones sobre la organización y distribución de la responsabilidad, sobre los estímulos materiales y morales, sobre el mejoramiento de la documentación y de los métodos de trabajo son de una eficacia que difícilmente se sobreestimará.

Conviene recalcar especialmente que la cibernética y la matemática han introducido en la teoría económica y en la práctica un principio nuevo para éstas, el *principio de optimización*. El sentido de dicho principio es el de que toda resolución que afecte a una economía planificada ha de buscar la variante mejor en las condiciones dadas, la solución óptima. La matemática, la cibernética y la técnica de computación abren la *posibilidad real de hallar soluciones económicas óptimas*. Podrían aducirse numerosos ejemplos de cómo se realiza este principio aplicado, digamos, a optimizar la estructura de una rama industrial, a distribuir óptimamente las fuerzas productivas, a planificar óptimamente el transporte de grandes cargas, etc. Por lo común, el plan óptimo es en un 5-8 % más eficiente que el plan establecido según los procedimientos de cálculo tradicionales, y en algunos casos, por ejemplo en la industria de la construcción, es mejor hasta en un 15-20 %. Teniendo en cuenta las gigantescas dimensiones de nuestra economía nacional, resulta fácil imaginarse lo que da prácticamente aplicar el principio cibernético de optimización.

La cibernética económica resuelve problemas cada vez más complejos en la planificación y dirección de la economía nacional. El uso de los métodos matemáticos para planificar y dirigir, combinados con la técnica cibernética, ha proporcionado ya muchos millones de rublos a la economía. La esfera económica, la dirección de la economía socialista del país serán, en un futuro próximo, uno de los campos de aplicación más importantes de los métodos, ideas y recursos de la cibernética[22].

Otra vasta esfera de aplicación de la cibernética es la *enseñanza*. Las ideas de la cibernética en la enseñanza han dado origen a una nueva rama de la ciencia, la *pedagogía cibernética*, que examina el proceso de enseñanza como funcionamiento de sistemas de dirección.

Ante todo hay que decir unas palabras sobre el significado del problema mismo. Conocidos son los éxitos alcanzados en la Unión Soviética en la preparación de especialistas. Actualmente en el país están ocupados en una actividad "informativa" para elevar su preparación unos ochenta millones de individuos. Se trata de personas de todas las edades, desde niños de las primeras clases hasta adultos. Les enseñan unos tres millones de profesionales de la enseñanza de las escuelas superiores, técnicas, escuelas especiales y demás centros docentes. Una tercera parte de la población del país estudia, pues ha llegado la época en que es necesario estudiar toda la vida: así lo exige el rápido progreso científico y técnico.

---

(22) Para más detalles acerca de las cuestiones metodológicas de la cibernética económica, véase: *N. P. Fedorenko*, "Economía y matemática", Moscú, 1967; *A. I. Berg, Iu. I. Cherniak*, "Información y dirección", Moscú, 1966.

Una enseñanza de tamaña envergadura requiere ingentes esfuerzos y gastos. Como es lógico, se plantea el problema de elevar la eficacia del trabajo pedagógico, con la particularidad de que esto concierne tanto a los que enseñan como a los que estudian. La organización científica del proceso de la enseñanza es un problema de hoy. De ahí que, para elevar la eficacia de la labor pedagógica, se empiece a recurrir no sólo a los resultados de las ciencias humanísticas, sino, además, a los de las ciencias exactas; no sólo, digamos, a la psicología, sino, además, a la cibernética y a la matemática.

La tarea no es fácil. El campo de la enseñanza puede considerarse como uno de los más "conservadores". En esencia, en la segunda mitad del siglo XX, en el siglo del cosmos y de la electrónica, se enseña a millones de niños y de adultos con los mismos métodos que se empleaban en el pasado, cuando el número de educandos era inferior en centenares de veces. Un problema de candente actualidad se plantea: poner los métodos y medios de enseñanza en consonancia con las posibilidades científicas y técnicas de nuestra época. En todo el mundo, durante los últimos años, se revisa la estimación de los métodos envejecidos.

Para nuestra exposición lo esencial es que la nueva apreciación metodológica se hace, en sensible medida, a cuenta de la "cibernetización" de la enseñanza. Se está efectuando, poco a poco, el paso a los métodos "cibernéticos" de enseñanza —por ahora, claro está, principalmente en el plano experimental—. Tales métodos permiten alcanzar resultados mucho mejores en un tiempo de enseñanza más corto. Hay que hablar sobre todo de las intensas investigaciones que se están realizando (tanto en la U.R.S.S. como en algunos otros países) acerca de las posibilidades de aplicar en la enseñanza computadores electrónicos digitales de rápido funcionamiento [23]. Ya se han elaborado métodos que permiten atender simultáneamente, con una sola de dichas máquinas, a varios centenares de educandos. Por otra parte, el empleo de la técnica cibernética permite impartir la enseñanza en el nivel más elevado: tener en cuenta las peculiaridades de los educandos, sus aptitudes, los ritmos individuales de su trabajo, etc. Así nace la pedagogía cibernética, disciplina en la que entra la actual *enseñanza programada*.

En el dominio de la pedagogía cibernética se trabaja intensamente en todo el mundo, y el volumen de estos trabajos aumenta sin cesar. Pero esto no es más que el comienzo de la revolución en pedagogía. Llega la era de la amplia aplicación de las máquinas electrónicas de enseñanza, que trabajan según planes docentes elaborados por expertos pedagogos. Tales máquinas pueden servir para la enseñanza en grupo y para la enseñanza individual, en clase y libre. Difícilmente cabe dudar de que las máquinas electrónicas de ense-

(23) En junio de 1968 se celebró en Kiev un seminario científico-técnico para aplicar la técnica electrónica de cómputo en la dirección del proceso escolar y en la enseñanza. Se espera que el libro con los textos de los informes presentados en dicho seminario vea la luz, publicado por la editorial "La radio soviética", en 1969.

ñanza, que se adaptan a las posibilidades reales y a las necesidades de los alumnos, en los próximos decenios cambiarán toda la situación en la preparación de especialistas.

Tal vez valga la pena señalar una vez más que los "pedagogos cibernéticos" no "amenazan" en absoluto al hombre-pedagogo: no se trata de sustituir o desplazar al hombre-pedagogo por la máquina. La introducción de los métodos y medios de la cibernética en la pedagogía no elimina al maestro, al educador ni al metodista. Al contrario, eleva en mucho su papel, pues amplía radicalmente sus posibilidades. La cuestión no está en "desplazar" al maestro, sino en facilitarle su labor, en dotar el proceso de la enseñanza con medios científico-técnicos modernos.

En su tiempo, Lenin escribió: "La cuestión reside en no darse por satisfecho con la capacidad de que nos ha dotado nuestra experiencia anterior, sino en marchar *sin falta más allá*, en conseguir obligatoriamente más, en pasar a toda costa de las tareas más fáciles a las más difíciles. Sin esto es imposible ningún progreso en general y, en particular, el progreso en la edificación socialista" (24). Hoy, las líneas más importantes de este progreso van unidas a la cibernética. La ciencia de la dirección óptima de los sistemas y de los procesos complejos ayuda a alcanzar los objetivos fundamentales en el trabajo y en la enseñanza.

Es interesante ver las estimaciones norteamericanas del aspecto cibernético de nuestro progreso. El corresponsal de la página científica del "Washington Post", Howard Simmons, en un artículo publicado en la revista yanqui "Fuerzas aéreas" (25), escribió que los especialistas de su país consideran "la cibernética soviética como una grandiosa amenaza potencial" para el Occidente. No hace mucho tiempo en la revista norteamericana "Computadores y automación", dos colaboradores científicos del Instituto de la memoria Batelle, de la ciudad de Columbus, Estado de Ohío, publicaron un artículo titulado "La cibernética en la U.R.S.S.". En él se dice: "Los soviéticos consideran que la cibernética puede aplicarse en las ciencias contemporáneas y en los problemas tecnológicos, y que refuerza algunas afirmaciones del materialismo dialéctico, filosofía que trata del desarrollo de la sociedad y complicados problemas análogos"; "En la Unión Soviética se concede mucha importancia a la cibernética como ciencia que trata de la dirección y de la comunicación en el hombre, en las máquinas y en la sociedad y se hace hincapié en los computadores" (26).

Que se hace hincapié en los *computadores electrónicos* es verdad.

---

(24) *V. I. Lenin*, "Obras", vol. XXXVII, pág. 196. ("Obras escogidas en tres tomos", edic. cit., t. III, pág. 59).

(25) Ver la traducción del artículo en el boletín de información del VINITI ("Instituto de Información Científica y Técnica de la U.R.S.S."). "La prensa extranjera habla de la ciencia y de la técnica soviéticas", 1965, Nº 1, págs. 5-11.

(26) *R. W. Brainard* y *W. D. Hitt*, "Cybernetics in the U.S.S.R.". "Computers and Automation", 1967, vol. 16, N 4, April, p. 10-11.

Los caminos que conducen a la solución de los problemas del desarrollo de nuestra sociedad se hallan indisolublemente ligados a la amplia aplicación de la técnica computadora. Ya hemos hablado de ello. Se trata de la base técnica de la cibernética. Actualmente, los métodos mecánicos para recoger, sistematizar, conservar, elaborar y utilizar la información científica, técnica, productiva y económica adquieren un valor gigantesco. Hoy, la potencia global —de producción, económica, militar y de otros tipos— de los países y de los Estados, no sólo depende, digamos, de sus posibilidades de producción, sino, además, de las que se tengan en el dominio de la información, de la capacidad de dirigir los procesos en un régimen óptimo. En todos los países económicamente desarrollados crece rápidamente la cantidad, y se eleva la calidad, de los computadores electrónicos y de los centros de computación. Según algunos cálculos, a finales de 1968 había en el mundo 90.000 máquinas de ese tipo, y se estaban construyendo otras 30.000. ¡A finales de 1969, por consiguiente, su número llegará a 120.000!

Todo esto cambia *radicalmente* las circunstancias en lo que respecta a elaborar y utilizar la información. En nuestros días, las máquinas electrónicas irrumpen en todas las esferas de la actividad informativa del hombre con una rapidez incomparablemente mayor que la imprenta hace unos siglos. Ahora existen ya máquinas que ejecutan millones de operaciones numéricas y lógicas por segundo, frente a unas cuantas operaciones mentales que, por segundo, puede cumplir el hombre de manera consciente.

Las posibilidades de las máquinas crecen sin interrupción. Lo que una máquina de los años cincuenta hacía en una hora, una máquina moderna lo hace en menos de medio minuto. Han aparecido posibilidades cualitativas de las máquinas que antes éstas no poseían. Se crean sistemas de cómputo de muchas máquinas, sistemas de computadores unidos formando un todo por medio de canales de comunicación. Tales sistemas presentan nuevas exigencias a los creadores de las máquinas electrónicas, de los sistemas de entrada y salida, de recogida, conservación y transmisión de los elementos informativos. La matemática computadora y la técnica exigen que se siga desarrollando la teoría, que se elaboren nuevos principios del funcionamiento de las máquinas, incluidas las que se basan en las ideas de autoorganización y adaptación.

La vasta utilización práctica de la cibernética depende en gran medida del progreso de los computadores electrónicos y de su *abastecimiento matemático*. Y este progreso se halla íntimamente vinculado al desarrollo de la radioelectrónica. La cibernética está extremadamente interesada en lograr que los procesos informativos se ejecuten con consumos mínimos de sustancia y de energía. Para ello se disminuyen las dimensiones y el peso de los aparatos, se recurre a la miniaturización y a la microminiaturización. Con los años, la técnica alcanzará tal densidad de empaquetamiento de la información en la memoria de los instrumentos y de las máquinas que podrá compararse a la densidad con que está empaquetada la información en el

cerebro del hombre. Tiene mucha importancia reducir la energía que los aparatos necesitan; la técnica crea dispositivos supersensibles y casi carentes de inercia que sustituyen a los voluminosos aparatos, que consumían mucha energía, de los años anteriores.

De los instrumentos y máquinas se exige también *seguridad* y *durabilidad*. A este propósito vale la pena referirse al "sistema de organización de la preparación impecable de lo que se produce", elaborado en la Unión Soviética (en la ciudad de Sarátov) bajo la dirección de B. A. Dubóvikov. Actualmente este sistema goza de gran estima y se introduce en miles de empresas tanto de la Unión Soviética como de otros países. Se trata de uno de los logros más relevantes de la ciencia y de la técnica soviéticas, es el cumplimiento auténtico de las indicaciones de Lenin sobre la organización científica del trabajo.

El problema de la seguridad es complejo. Abarca una amplia serie de cuestiones que afectan a ciencias y orientaciones de la técnica como la física y la química, la construcción de máquinas y de instrumentos, la matemática y la economía. Incluye asimismo "factores humanos". La cibernética requiere que se estudie la firmeza del trabajo del hombre, eslabón esencialísimo en los actuales sistemas de dirección. Este aspecto del problema de la seguridad presenta un importante plano sociológico, que los sociólogos han de estudiar.

Aplicado a la información, el problema de la seguridad es ante todo el problema de su *autenticidad*. Para dirigir con eficacia el trabajo humano, para racionalizar la enseñanza se necesita una información que posea un valor cabal. Esto significa: una información oportuna, exacta, sin contradicciones (exigencia particularmente esencial cuando la información llega por distintos canales de comunicación), libre de interferencias y de tergiversaciones. Si no se dispone de una información segura, hay que dirigir y tomar resoluciones basándose en una información incompleta o deficiente. La defectuosidad de la información puede hacer imposible el funcionamiento de todo el sistema de dirección. Se explica, pues, que la cibernética esté profundamente interesada en que la calidad de la información se eleve y posea un valor cabal, cosa no menos importante que la calidad de los productos industriales, de la edificación, del trabajo en el transporte, etc.

En los *Cuadernos filosóficos* Lenin escribió que la verdad es un proceso, "el hombre va... a la verdad objetiva a través de la «práctica» (y de la técnica)" [27]. Actualmente este camino hacia la verdad "a través de la técnica" pasa en gran parte a través de la cibernética. Es la *automatización del trabajo mental*. Gran número de las acciones y operaciones del entendimiento, consideradas a lo largo de siglos como monopolio del hombre, se van confiando poco a poco a las máquinas electrónicas. Es evidente que las máquinas electrónicas del futuro, que funcionarán con una rapidez de miles de millones de operaciones por segundo, que poseerán una memoria exterior supe-

(27) *V. I. Lenin*, "Obras", t. XXIX, pág. 183.

rior en muchas veces a la memoria del hombre, que se enseñarán a sí mismas y se autoorganizarán, que trabajarán sin fallos durante largo tiempo, tales máquinas prestarán al hombre inestimables servicios en la ruta que conduce a la verdad objetiva. ¿Y qué decir de las máquinas de tipo nuevo entrevistas por los actuales investigadores, que pugnan por hallar los caminos que permitan crearlas, máquinas del futuro que poseerán "independencia" hasta llegar a la capacidad, según criterios generales establecidos de una u otra forma por el hombre, de adaptarse al medio externo y de "perfeccionarse" a sí mismas?!

Al esbozar la perspectiva del posible desarrollo de las máquinas electrónicas cibernéticas estimamos oportuno manifestar la opinión de que las máquinas *no piensan* —y difícilmente pensarán— *como el hombre*, como un ser racional que vive en sociedad, tiene necesidades intelectuales y utiliza el lenguaje natural para intercambiar ideas con otros seres racionales. Pero es indudable que el hombre que trabaja en "colaboración" con una máquina electrónica piensa mejor y de otro modo que el hombre obligado a utilizar tan solo los instrumentos primitivos de mecanización de su trabajo mental.

ÍNDICE

PREFACIO 9

PRIMERA PARTE

Problemas generales de la filosofía, de la metodología y de la historia de las ciencias naturales

P. N. FEDOSÉIEV. **Las ideas de Lenin y la metodología de la ciencia contemporánea** 13

El progreso de las ciencias naturales y el desarrollo del materialismo dialéctico 14

La metodología y el desarrollo de las ciencias naturales contemporáneas 20

El materialismo dialéctico y la unidad de las ciencias 23

JOHN D. BERNAL. **Lenin y la ciencia** 31

TODOR PÁVLOV. **En torno a la unidad dialéctica entre la filosofía y las ciencias naturales** 39

Filosofía, ciencias naturales y matemática 41

La filosofía, la teoría de la información y otras orientaciones de la ciencia contemporánea 47

P. V. KOPNIN - P. S. DISHLEVI. **Las ideas de Vladímir Ilich Lenin sobre la flexibilidad multilateral de los conceptos y los conocimientos de la física contemporánea** 51

¿Por qué senda filosófica avanza la física contemporánea? 51

Dialéctica de los conceptos y desarrollo del conocimiento en física 56

La dialéctica de sujeto y objeto, momento de partida en la comprensión del carácter objetivo de los conceptos y teorías de la física 66

La física contemporánea, fuente de nuevas ideas lógico-gnoseológicas 71

B. M. KÉDROV. **Vladímir Ilich Lenin y la historia de las ciencias naturales** 81

La historia de las ciencias naturales como fuente de la elaboración creadora de la dialéctica marxista 81

La historia de las ciencias naturales y nuestra época 85

La idea de los jalones en el desarrollo de las ciencias naturales 88

El método de la elaboración dialéctica de la historia de las ciencias naturales 91

El paso del conocimiento de los fenómenos a la esencia y la historia real de las ciencias naturales 93
La secuencia lógica del pensamiento y la verdadera marcha de las ciencias naturales 98
Necesidad de estudiar la ciencia del pasado y cuidar de ella 100

N. F. OVCHÍNNIKOV. **El problema de la síntesis del conocimiento científico contemporáneo a la luz de la filosofía marxista-leninista** 103
El saber del individuo y el saber de la colectividad 105
La filosofía y el sistema de las ciencias de la naturaleza 110
La tendencia de las ciencias naturales a la unidad metodológica 114
La unidad conceptual del conocimiento científico 119

SEGUNDA PARTE

Problemas filosóficos y metodológicos de las ciencias físicas

M. E. OMELIÁNOVSKI. **Lenin y la dialéctica en la física contemporánea** 127
Sobre la dialéctica en las ciencias naturales 127
El problema de la realidad objetiva 131
La idea de la contradicción dialéctica en la teoría cuántica 138

CECIL F. POWELL. **Perspectivas y problemas de la ciencia contemporánea** 147
Los éxitos de la física de las partículas elementales 147
Cambios en el estilo del trabajo 148
Perspectivas de la ciencia contemporánea 149
Dificultades relacionadas con el cambio de los métodos científicos 152
Peligros que se alzan en la vía del progreso científico 155
La función de las instituciones científicas internacionales 156

SIOITI SAKATA. **La teoría de las partículas elementales y algunos de sus problemas filosóficos** 159
Tres puntos de vista sobre las partículas elementales 159
Los puntos de vista sobre las partículas elementales y la interpretación copenhaguiana de la mecánica cuántica 162
La concepción dialéctica de las partículas elementales y el modelo compuesto 166

V. S. BARÁSHENKOV - D. I. BLOJÍNTSEV. **La idea de Lenin sobre la inagotabilidad de la materia en la física contemporánea** ... 169
Concepto de partícula espacio-extensional 170
Cuadro actual de la estructura de las partículas elementales 176
La estructura de las partículas elementales y el concepto de elementalidad 178
Macrofenómenos en el micromundo 181
Conclusión 183

V. A. FOK. La física cuántica y los problemas filosóficos 185
Valor gnoseológico de la diferencia en los procedimientos de descripción de los objetos físicos 185
Rasgos fundamentales del procedimiento clásico de describir los fenómenos 188
Limitación del procedimiento clásico de describir los fenómenos y esfera de su aplicabilidad 190
La relatividad de los medios de observación como base del procedimiento cuántico de describir los fenómenos ... 192
Los conceptos de probabilidad y de posibilidad potencial en la física cuántica 194
El instrumental matemático de la mecánica cuántica y los grados de libertad de los sistemas físicos 195
Conclusión 198

A. D. ALEXÁNDROV. El espacio y el tiempo en la física contemporánea a la luz de las ideas filosóficas de Lenin 201
El espacio en la matemática 202
Fundamentos de la teoría de la relatividad 205
El espacio-tiempo absoluto y el relativismo 209
La teoría general de la relatividad 212
Todavía algo más sobre la teoría general de la relatividad 217
¿Qué es el espacio-tiempo? 223

V. A. AMBARTSUMIÁN - V. V. KAZIUTINSKI. La dialéctica y la astronomía contemporánea 229
Sobre el carácter "insólito" de los descubrimientos de la astronomía en el siglo XX 229
El principio de la unidad del mundo y el principio del desarrollo en la astronomía contemporánea 235
La revolución en la astronomía contemporánea 251

TERCERA PARTE

Problemas filosóficos y metodológicos de las ciencias biológicas

V. A. ENGELHARDT. El problema de la vida en las ciencias naturales contemporáneas 255
La definición de la esencia de la vida 255
El conocimiento de los atributos de la vida 261
La biología molecular, nuevo peldaño en la investigación de la materia viva 262
El flujo de la materia 265
El flujo de la energía 269
El flujo de la información 271
Mecanismos moleculares de regulación de los procesos biológicos 275
Las estructuras moleculares y la organización biológica .. 276
Conclusión 279

N. P. DUBININ. **La genética contemporánea a la luz de la filosofía marxista - leninista** 281
Los adalides de las ciencias naturales en el presente siglo 281
Sobre los fundamentos materiales de la herencia. El concepto de gene. La vida como forma especial de existencia de los sistemas materiales abiertos 283
El problema de la adecuación a fines, los factores del desarrollo histórico de los organismos, el control sobre la evolución de las especies 288
El problema de las mutaciones. Sobre la esencia y el fenómeno en la aparición de la variabilidad hereditaria de los organismos 292
El gobierno de la herencia. Sobre la unidad de la teoría y de la práctica en la genética 299

CUARTA PARTE

Problemas filosóficos de las ciencias que tratan de la Tierra

E. K. FIÓDOROV. **Las tendencias del desarrollo y el alcance social de las ciencias que tratan de la Tierra** 309
El estadio actual de la interacción de la sociedad con la naturaleza 310
Estado de las ciencias que tratan de la Tierra y tendencias de su desarrollo 315
Algunos problemas sociales 322

QUINTA PARTE

Problemas filosóficos y metodológicos de la cibernética

A. I. BERG - B. V. BIRIUKOV. **La cibernética y el progreso de la ciencia y de la técnica** 333
El problema de la dirección 334
Lo nuevo en el cuadro científico del mundo 340
Ciencia nueva, métodos nuevos 346
La "cibernetización" del saber 350
La elevación de la eficiencia en el trabajo y en la enseñanza 354

Se terminó de imprimir
en el mes de Diciembre
de 1970 en los Talleres
de Imprenta Letras S.A.
La Paz 1825
Montevideo-Uruguay

Comisión del Papel — Edición amparada
en el Art. 79 de la Ley 13.349